This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

ÉLÉMENTS

DE

COSMOGRAPHIE

PAR AMÉDÉE GUILLEMIN

Auteur du *Ciel*

OUVRAGE RÉDIGÉ CONFORMÉMENT

aux programmes officiels de 1866

POUR L'ENSEIGNEMENT SECONDAIRE SPÉCIAL

(TROISIÈME ANNÉE)

DEUXIÈME ÉDITION

PARIS

LIBRAIRIE DE L. HACHETTE ET Cie

BOULEVARD SAINT-GERMAIN, N° 77

1867

600048539Z

PRESS G. 27.
SHELF a.
Nº 14.

18423 e 22.

OUVRAGES DU MÊME AUTEUR

PUBLIÉS PAR LA MÊME LIBRAIRIE :

LES PHÉNOMÈNES DE LA PHYSIQUE ; ouvrage illustré de 300 gravures sur bois, et de 15 planches tirées en couleur. 1 vol. grand in-8..... 25 fr.

LE CIEL. Notions d'astronomie à l'usage des gens du monde; 3e édition; ouvrage illustré de 40 grandes planches dont 12 tirées en couleur, et de 192 vignettes insérées dans le texte. 1 vol. grand in-8 ..... 20 fr.

LES CHEMINS DE FER, construction, mécanisme, matériel, exploitation; 2e édition. 1 vol. grand in-18 illust. de 120 vignettes. 2 fr.

LA LUNE. 1 vol. grand in-18 illustré de 2 grandes planches et de 46 vignettes..... 1 fr.

EN PRÉPARATION :

LE SOLEIL.

LES APPLICATIONS DE LA PHYSIQUE.

Imprimerie générale de Ch. Lahure, rue de Fleurus, 9, à Paris

ÉLÉMENTS

DE

COSMOGRAPHIE

PAR AMÉDÉE GUILLEMIN

Auteur du *Ciel*.

OUVRAGE RÉDIGÉ CONFORMÉMENT

aux programmes officiels de 1866

POUR L'ENSEIGNEMENT SECONDAIRE SPÉCIAL

(TROISIÈME ANNÉE)

DEUXIÈME ÉDITION

PARIS

LIBRAIRIE DE L. HACHETTE ET Cie

BOULEVARD SAINT-GERMAIN, N° 77

1868

Droits de propriété et de traduction réservés

RADCLIFFE LIBRARY
OXFORD

EXTRAIT DES PROGRAMMES OFFICIELS

DE

L'ENSEIGNEMENT SECONDAIRE SPÉCIAL

COSMOGRAPHIE

Introduction.

En quelque endroit qu'on se transporte sur la terre, il y a une direction que chacun reconnaît aisément et qu'il désigne en nommant le Nord et le Midi. Quand on se tourne vers le midi, c'est-à-dire vers le point qu'occupe le soleil au milieu du jour, on a le Nord derrière soi, l'Orient à sa gauche et l'Occident à sa droite : quatre directions opposées, deux à deux, et qui correspondent aux quatre points cardinaux de la géographie. Ces directions n'ont rien d'arbitraire; elles sont en rapport non-seulement avec le mouvement du soleil, mais encore avec le mouvement apparent du ciel entier.

Laissons venir la nuit, examinons le mouvement des étoiles, nous verrons qu'elles tournent toutesautour d'un axe, dont la direction est à peu près déterminée par une étoile qui est comme le pôle des mouvements décrits par les autres, et que l'on nomme *étoile polaire*. Le plan vertical mené par l'axe de rotation du ciel constitue le méridien de l'endroit où l'on observe, lequel étant connu détermine l'orientation du lieu; car il contient les deux pôles, se dirige très-près de l'étoile polaire, coupe en deux parties égales les cercles des étoiles, passe par le lieu le plus élevé du cours de chacune et donne midi, qui se compte au moment du passage du centre du soleil dans le méridien. — L'aiguille aimantée librement suspendue prend d'elle-même une direction

tives au soleil, doit influer considérablement sur les conditions d'habitabilité qu'on pourrait leur attribuer.

Pour ces prolégomènes, le professeur fait usage de l'observation directe du ciel, de figures, de modèles, d'appareils uranographiques, en un mot de tout ce qui, parlant aux sens, peut servir à fixer dans la mémoire des élèves une image nette des phénomènes qu'il décrit.

La terre.

Courbure de la terre : disparition d'un navire s'éloignant de la côte. — Montagnes éclairées avant la pointe des clochers par le soleil levant. — Apparition d'étoiles nouvelles quand on s'avance vers le sud; disparition de certaines étoiles quand on s'avance vers le nord.

La terre est isolée dans l'espace : — Voyages de circumnavigation. — Pourquoi ne tombe-t-elle pas? — Ce que c'est que tomber. — Corps plus légers que les couches inférieures de l'atmosphère, ils s'élèvent; plus lourds que l'air, ils tombent sur la terre. — Attraction de la terre. — Antipodes. — Dépression de l'horizon. — La terre et les eaux forment une masse arrondie dans tous les sens et isolée dans l'espace.

Mouvement de rotation de la terre (détails historiques sur la découverte de ce mouvement). — Preuves matérielles. — Un corps lancé verticalement retombe à l'orient de son point de départ. — Cette déviation, est ou sud-est, ne peut se concilier avec l'immobilité de la terre. — Déplacement du plan des oscillations du pendule à un fil. — Démonstrations physiques de la rotation par le pendule : Gyroscope de M. Foucault. — La terre tourne sur elle-même. — Illusions produites par le mouvement de rotation. — Conservation des positions respectives des différents lieux. — Attraction et gravité. — L'attraction est directement proportionnelle aux masses et inversement proportionnelle aux carrés de distances. — Équateur et méridiens. — Zones. — Cercles polaires. — Tour de la terre en suivant l'équateur. — Tour de la terre par les pôles. — Détermination des degrés d'un arc de méridien. — Aplatissement de la terre. — Vraie forme de la terre. — Grandeur de la terre supposée sphérique. — Détermination de la longueur d'un degré. — Inégalités en longueur des degrés d'un méridien. — Les verticales ne concourent pas toutes au centre. — Irrégularités du sphéroïde terrestre. — Superficie et volume de la terre. — Grandes aspérités. — Hauteur du pic de Ténériffe, de l'Himalaya, etc. — Aplatissement, preuve de la rotation. — Force centrifuge : elle diminue de l'équateur aux pôles, où elle est nulle. — Vitesse de différents points de la terre. — Variations de la pesanteur.

Mesure du temps. — Détermination de l'heure. — Détermination de la latitude d'un lieu. — Hauteur du pôle en ce lieu. — Longitude d'un lieu. — Globe terrestre. — Cartes géographiques.

assez voisine du méridien pour qu'on puisse s'en servir à s'orienter en temps couvert. — Application à la navigation.

Examinant avec plus d'attention le ciel pendant la nuit, on reconnaît que la plupart des astres visibles se meuvent solidairement comme s'ils tournaient tout d'une pièce autour de l'axe du monde. Un très-petit nombre échappent à cette sorte de fixité, et on les voit se déplacer à travers les constellations formées par les étoiles proprement dites. Ces astres mobiles sont les planètes, les comètes, la lune et même le soleil.

Énumération et caractères des différentes planètes. — Planètes intérieures : Vénus, Mercure; planètes extérieures : Mars, Jupiter, Saturne, Uranus. — Il y en a d'invisibles à l'œil nu : Neptune et une foule de petites qu'on découvre tous les jours. — Parmi ces différentes planètes, il y en a qui ont des satellites tournant autour d'elles. La terre est dans ce cas; elle a la lune pour satellite. Parmi les satellites des autres planètes, les plus faciles à observer sont ceux qui accompagnent Jupiter, au nombre de quatre. Saturne en a également, et de plus un anneau qui entoure la planète sans la toucher. Tous ces corps exécutent leurs mouvements dans une zone désignée sous le nom de *zodiaque*, et partagée en douze constellations ou signes dont les noms remontent aux temps les plus anciens.

Le mouvement qui paraît commun à toutes les étoiles semble leur faire faire un tour entier en vingt-quatre heures. Ce mouvement, qui s'appliquerait à l'univers entier, est inadmissible en réalité. Il faut le prendre pour une apparence et l'appliquer en sens inverse à la terre elle-même. La terre rentre ainsi dans des conditions semblables à celles des autres planètes que l'on voit, au moyen des instruments, tourner dans un sens qui est le même pour toutes. Mais alors la terre a également un mouvement de translation qui l'entraîne à travers l'espace comme les autres planètes. — Tous ces mouvements de translation s'accomplissent autour du soleil, qui demeure au centre du système en tournant sur lui-même dans le sens général, à savoir d'Occident en Orient.

Toutes les planètes sont ainsi animées d'un double mouvement; un mouvement de rotation et un mouvement de translation. Le mouvement de rotation a lieu autour d'un axe dont la direction ne varie que très-lentement. Le mouvement de translation se fait suivant une orbite dont le plan demeure également à peu près invariable.

La vitesse de mouvement de rotation de la terre détermine la durée du jour. Le temps employé à parcourir son orbite tout entière détermine la durée de l'année; quant à la succession des saisons, elle provient de l'inclinaison de l'axe de rotation sur le plan de l'orbite.

Cette inclinaison change beaucoup d'une planète à l'autre, ce qui, indépendamment du changement de leurs distances respec-

tives au soleil, doit influer considérablement sur les conditions d'habitabilité qu'on pourrait leur attribuer.

Pour ces prolégomènes, le professeur fait usage de l'observation directe du ciel, de figures, de modèles, d'appareils uranographiques, en un mot de tout ce qui, parlant aux sens, peut servir à fixer dans la mémoire des élèves une image nette des phénomènes qu'il décrit.

La terre.

Courbure de la terre : disparition d'un navire s'éloignant de la côte. — Montagnes éclairées avant la pointe des clochers par le soleil levant. — Apparition d'étoiles nouvelles quand on s'avance vers le sud ; disparition de certaines étoiles quand on s'avance vers le nord.

La terre est isolée dans l'espace : — Voyages de circumnavigation. — Pourquoi ne tombe-t-elle pas? — Ce que c'est que tomber. — Corps plus légers que les couches inférieures de l'atmosphère, ils s'élèvent ; plus lourds que l'air, ils tombent sur la terre. — Attraction de la terre. — Antipodes. — Dépression de l'horizon. — La terre et les eaux forment une masse arrondie dans tous les sens et isolée dans l'espace.

Mouvement de rotation de la terre (détails historiques sur la découverte de ce mouvement). — Preuves matérielles. — Un corps lancé verticalement retombe à l'orient de son point de départ. — Cette déviation, est ou sud-est, ne peut se concilier avec l'immobilité de la terre. — Déplacement du plan des oscillations du pendule à un fil. — Démonstrations physiques de la rotation par le pendule : Gyroscope de M. Foucault. — La terre tourne sur elle-même. — Illusions produites par le mouvement de rotation. — Conservation des positions respectives des différents lieux. — Attraction et gravité. — L'attraction est directement proportionnelle aux masses et inversement proportionnelle aux carrés de distances. — Équateur et méridiens. — Zones. — Cercles polaires. — Tour de la terre en suivant l'équateur. — Tour de la terre par les pôles. — Détermination des degrés d'un arc de méridien. — Aplatissement de la terre. — Vraie forme de la terre. — Grandeur de la terre supposée sphérique. — Détermination de la longueur d'un degré. — Inégalités en longueur des degrés d'un méridien. — Les verticales ne concourent pas toutes au centre. — Irrégularités du sphéroïde terrestre. — Superficie et volume de la terre. — Grandes aspérités. — Hauteur du pic de Ténériffe, de l'Himalaya, etc. — Aplatissement, preuve de la rotation. — Force centrifuge : elle diminue de l'équateur aux pôles, où elle est nulle. — Vitesse de différents points de la terre. — Variations de la pesanteur.

Mesure du temps. — Détermination de l'heure. — Détermination de la latitude d'un lieu. — Hauteur du pôle en ce lieu. — Longitude d'un lieu. — Globe terrestre. — Cartes géographiques.

ÉLÉMENTS

DE

COSMOGRAPHIE

Éclipses et occultations.

Éclipses. — Causes des éclipses de soleil et de lune. — Époques et conditions de réalisation. — Cône d'ombre de la terre. — Il ne peut pas y avoir éclipse dans toutes les syzygies. — Inclinaison du plan de l'orbite lunaire sur celui de l'écliptique. — Éclipse centrale, partielle, totale, annulaire. — Particularités d'observation pendant une éclipse. — Silhouette de notre globe sur la lune. — Preuve de la rondeur de la terre. — Marche et durée d'une éclipse totale, d'une éclipse annulaire, des éclipses partielles de soleil. — Durée des éclipses de lune. — Partie de la terre d'où est visible une éclipse centrale de lune. — Les éclipses de lune ne se manifestent point brusquement. — Effet de la pénombre terrestre. — Les éclipses de lune affectent une bien plus grande étendue de pays et plus souvent le même lieu que celles de soleil. — Les éclipses de lune sont moins fréquentes que celles de soleil. — Période des éclipses. — Moyen de prédire les éclipses sans calcul. — Éclipses de soleil remarquables.

Planètes.

Noms et ordre des principales planètes. — Planètes inférieures et supérieures. — Zone zodiacale. — Les signes ne sont plus des constellations. — En quoi les planètes diffèrent des étoiles. — La terre est une planète. — Mouvements apparents des planètes vus de la terre. — Représentation sur un globe céleste du chemin apparent qu'elles parcourent. — Apparence du mouvement des planètes rapproché du mouvement apparent du soleil autour de la terre. — Mouvement d'une planète inférieure autour du soleil, vu de la terre. — Circulation d'un corps autour d'un centre. — Histoire de la découverte du mouvement de translation de la terre autour du soleil. — Distance des principales planètes au soleil. — Révolutions des planètes autour du soleil. — Elles se font toutes dans le même sens, qui est celui des rotations. — Les orbites planétaires sont toutes inclinées sur l'écliptique. — Rotation constatée ou conjecturée des planètes. — Les planètes dont la rotation a été reconnue sont généralement aplaties dans le sens de l'axe du mouvement, et l'aplatissement augmente avec la vitesse de rotation. — L'axe de rotation est toujours incliné sur le plan de l'orbite. — Aplatissement et inclinaison de l'axe de la terre. — Simple énoncé des lois de Képler. — Particularités sur Mercure, Vénus, Mars et Jupiter, Saturne et Uranus. — Satellites de Jupiter.

Vénus, étoile du matin, du soir, du berger ; — ses passages devant le disque du soleil. — Mars, — son mouvement par rap-

port au soleil, — ses deux taches blanches. — Jupiter, ses satellites. — Égalité des temps de la révolution et de la rotation des satellites. — Saturne, — anneau, — son inclinaison sur l'orbite de la planète. — Neptune, — sa découverte. — Idée de la méthode employée. — Un mot des petites planètes comprises entre Mars et Jupiter. — Aérolithes, étoiles filantes, bolides. — Quelques détails d'observations. — Résumé du système planétaire.

Comètes.

Astres errants. — Les angles que les plans de leurs orbites font avec l'écliptique varient depuis zéro jusqu'à 90°. — Nébulosités, chevelure, queues. — Noyaux. — Direction, forme, longueur, cause des queues. — Comètes bien connues. — Les comètes sont sans influence sur les saisons. — Du choc de la terre par une comète.

Étoiles.

Étoiles fixes. — Elles sont innombrables. — Voie lactée. — Distance des étoiles à la terre. — Le grand axe de l'écliptique n'est pas une base suffisante. — Parallaxe. — Temps que la lumière des étoiles met à nous parvenir. — Scintillation. — Elle est insensible dans les pays où l'air est très-sec. — Mouvements apparents des étoiles. — Vitesse de la lumière et celle de la terre sur son orbite. — Aberration; — ses causes. — Variations de la courbe d'aberration. — Mouvements propres des étoiles. — Étoiles périodiques, temporaires. — Apparition et disparition de trois grandes étoiles. — Étoiles multiples. — Les composantes des étoiles visibles diffèrent de clarté et souvent de couleur. — Révolution des composantes autour de l'une d'elles. — Quelques mots sur la forme de certaines orbites stellaires et les durées de leurs révolutions. — Amas stellaires. — Nébuleuses résolubles. — Nébuleuses irréductibles. — La Voie lactée est une nébuleuse.

Application de l'astronomie aux sciences et aux arts.

Usage des éclipses dans la chronologie.

Éclipses des satellites de Jupiter. — Observations de Rœmer. — Vitesse de la lumière. — Son rapport à la vitesse de la terre et à celle d'un boulet.

Flux et reflux de la mer. — Retour de la lune au méridien. — Soleil en conjonction ou en opposition avec la lune. — Marées. — Établissement d'un port. — Donner une idée des services que l'astronomie rend à la navigation. — Tables de la lune.

Calendrier. — Origine de ce mot. — Semaine, mois. — Moyen de reconnaître, sans almanach, si tel mois a ou n'a pas 31 jours. — Si l'on n'eût pas tenu compte de la différence, les saisons ne seraient plus revenues aux mêmes époques du calendrier. — Année bissextile. — Nombre d'or ou cycle lunaire. — Période de 28 ans. — On compte les cycles solaires à partir de celui qui renferme l'ère chrétienne. — Lettre dominicale. — Toute année bissextile a deux lettres dominicales.

Des cadrans. — Tracé des méridiennes du temps vrai. — Méthode de jour ou des ombres. — Gnomon. — Méthode de nuit ou d'alignement au pôle. — Exposer les principes fondamentaux du tracé des cadrans.

ÉLÉMENTS

DE

COSMOGRAPHIE.

INTRODUCTION.

I

HORIZON, VOUTE CÉLESTE. — LEVER ET COUCHER DES ASTRES; ORIENT ET OCCIDENT. — VERTICALE, ZÉNITH ET NADIR. — MÉRIDIEN; DÉTERMINATION DE LA MÉRIDIENNE PAR LES OMBRES D'UN STYLE VERTICAL. — ORIENTATION; POINTS CARDINAUX ET ROSE DES VENTS.

Quand nous nous plaçons, pour voir le ciel, dans un endroit élevé et découvert, où la vue peut s'étendre librement de tous côtés, l'espace indéfini où nous voyons circuler les astres, le Soleil pendant le jour et les étoiles pendant la nuit, nous apparaît sous la forme d'une voûte immense qui recouvre tout l'horizon. Si cet horizon est celui d'une vaste plaine, ou mieux encore la surface de la mer ou d'un grand lac, la ligne qui le sépare du ciel nous semble une circonférence de cercle dont nous occupons le centre. Dans les pays de montagnes, la ligne d'horizon est plus accidentée, mais le ciel, quand il est sans nuages, est toujours semblable à la moitié d'une sphère dont la concavité est tournée vers nous.

La voûte céleste offre une teinte d'un bleu d'azur brillant pendant le jour, plus sombre pendant la nuit. Mais cette couleur est due uniquement aux couches de l'atmosphère dont la Terre est entourée, les particules de l'air ayant la propriété de réfléchir surtout les rayons bleus de la lumière du Soleil. A mesure qu'on s'élève sur les montagnes, la teinte devient plus foncée, et le ciel paraîtrait entièrement noir, si l'on pouvait l'observer aux limites de l'atmosphère, à une hauteur d'environ 20 ou 25 lieues (80 à 100 kilomètres).

Nous ne pouvons voir le ciel qu'à travers l'atmosphère: mais ses dimensions paraissent infinies, si l'on en juge par les prodigieuses distances où se trouvent de la Terre les étoiles les plus voisines, distances qu'on est enfin parvenu à mesurer, et par les profondeurs beaucoup plus considérables encore où la vue parvient à pénétrer à l'aide des télescopes. Il faut donc avoir sans cesse présente à l'esprit cette idée, que les phénomènes célestes se passent dans une région située bien au delà de l'enveloppe aérienne dans laquelle nous vivons.

Quand on se déplace à la surface de la Terre, l'horizon change, et, avec lui, l'aspect du ciel, ainsi que nous le reconnaîtrons plus tard; mais il est un phénomène qui est propre à tous les horizons et qui est familier à tout le monde : c'est le lever et le coucher des astres, ainsi que leur mouvement commun sur la voûte céleste, dans l'intervalle d'environ un jour.

Pendant la journée, c'est le Soleil qui apparaît le matin, d'abord comme un point lumineux, puis sous la forme d'un cercle ou disque qui s'élève de plus en plus, pour s'abaisser et disparaître en un point de l'horizon opposé à celui de son lever. Une fois le Soleil couché, sa lumière illumine encore quelque temps l'atmosphère; mais à mesure que cette clarté s'affaiblit, des points lumineux apparaissent çà et là dans le ciel qui se trouve bientôt parsemé d'étoiles. En examinant avec attention ces points brillants, on n'est pas longtemps à s'apercevoir qu'ils se meuvent tous dans un même sens, qui est précisément celui du mouvement du Soleil pendant le jour. Du côté de l'horizon où cet astre s'est levé, on voit peu

à peu apparaître des étoiles nouvelles, en même temps que d'autres disparaissent du côté opposé. Tous ces points lumineux s'évanouissent le matin, quand la lumière crépusculaire qui précède le lever du Soleil devient assez vive pour éteindre par son contraste l'éclat de chaque étoile isolée. Mais il est évident que leur mouvement continue pendant le jour, de sorte que toutes les étoiles — et la Lune est dans le même cas — se lèvent et se couchent successivement pendant l'intervalle d'un jour et d'une nuit.

On appelle *orient*[1] ou *levant* le côté de l'horizon où a lieu le lever des astres; *occident*[1] ou *couchant*, celui où a lieu leur coucher.

Essayons maintenant de préciser avec plus de rigueur le sens de ces mots et de quelques autres dont on se sert à la fois en géographie et en astronomie.

Dans chaque horizon terrestre, quel que soit le lieu de la Terre où cet horizon se trouve, on considère une ligne qu'on nomme la *verticale*. La direction de cette ligne est celle que prend un fil flexible, quand on suspend à son extrémité inférieure un corps pesant, et qu'on le tient immobile par son extrémité supérieure. Tel est le *fil à plomb*, également connu des savants, des ingénieurs et des ouvriers.

La verticale est *perpendiculaire*[2] à la surface d'une eau tranquille. Or, si l'on imagine qu'on la prolonge indéfiniment au-dessus de l'horizon, le point où elle semble percer le ciel est ce qu'on nomme le *zénith* (en arabe le *point*). Comme on sait que le ciel enveloppe la Terre, on donne le nom de *nadir* (*vis-à-vis*, *opposé*) au point de la voûte céleste diamétralement opposé au zénith, c'est-à-dire à celui où la verticale prolongée au-dessous de l'horizon irait rencontrer la voûte céleste.

Le zénith est également éloigné — il s'agit ici de sa distance apparente, mesurée par un arc de grand cercle de 90 degrés — de tous les points de l'horizon supposé parfai-

1. Des mots latins *oriens*, qui se lève, et *occidens*, qui se couche.

2. C'est-à-dire, n'est penchée d'aucun côté sur le plan; elle fait un angle droit avec chaque ligne droite menée par son pied dans ce plan.

tement circulaire. Il ne peut donc, en aucune façon, servir à déterminer la position des divers points de l'horizon.

Pour déterminer les plus importants de ces points, ceux qui, dans un lieu quelconque de la Terre, servent à l'orientation du voyageur ou aux observations scientifiques de toute nature, il faut recourir au phénomène du mouvement diurne. Selon l'époque de l'année, la position que le Soleil occupe à son lever à l'horizon oriental varie d'un jour à l'autre; il en est de même du point de l'horizon où il se couche. Enfin sa hauteur la plus grande change aussi chaque jour suivant les saisons.

Mais ce qu'il y a d'invariable dans ce mouvement quotidien, c'est la direction du plan vertical où est le Soleil au milieu du jour, à l'instant de son élévation la plus grande. Cette direction est constante pour chaque horizon et pour une époque quelconque : c'est celle que chacun connaît sous le nom de *midi* appliqué au côté de l'horizon qui regarde le Soleil, sous le nom de *nord*, quand l'observateur se tourne vers le point de l'horizon diamétralement opposé au Soleil à cet instant du jour.

Le plan vertical qui contient le Soleil au plus haut point de sa course diurne a reçu le nom de *plan méridien*, plus simplement de *méridien*[1]. La trace du méridien sur le plan de l'horizon est la *ligne méridienne* ou, pour abréger, la *méridienne*.

La méridienne coïncide avec la direction de l'ombre qu'un bâton vertical ou la corde du fil à plomb projette à midi sur un plan rigoureusement horizontal. Mais cette remarque ne peut malheureusement servir à tracer pratiquement la méridienne d'un lieu, parce qu'il est fort difficile de reconnaître le moment précis où le Soleil arrive au point le plus élevé de son arc diurne.

Voici un procédé qui peut suffire pour obtenir la direction de cette ligne d'une façon approchée :

Quelque temps avant midi — une heure ou deux, je suppose — on marque l'extrémité A de l'ombre projetée par

1. Du latin *meridies*, milieu du jour, ou midi.

une tige en bois ou en métal, qu'on a préalablement dressée dans une position bien verticale[1] sur un plan horizontal. La position de ce plan a été elle-même déterminée à l'aide du niveau d'eau, avec tout le soin possible.

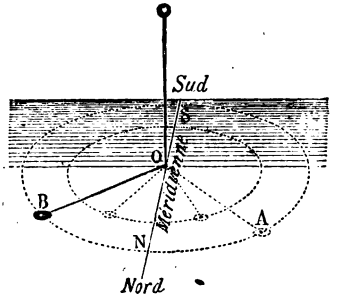


Fig. 1. Détermination de la méridienne par les ombres d'un style vertical.

A mesure que l'heure de midi approchera, on verra l'ombre diminuer insensiblement de grandeur et sa direction varier peu à peu, puis cette ombre croîtra ensuite en repassant par les mêmes longueurs, mais dans une direction de plus en plus divergente. On attendra qu'elle atteigne précisément la longueur qu'elle avait à l'instant de la première observation et l'on marquera le point B où aboutit alors l'extrémité de l'ombre. A et B se trouveront ainsi nécessairement sur une circonférence de cercle dont le centre est au pied de la tige, en O.

Si l'on divise alors l'angle AOB en deux parties égales, la ligne SN bisectrice de cet angle ne sera autre chose que la méridienne du lieu de l'observation.

Pour plus d'exactitude, on trace d'avance des circonférences de divers rayons, et l'on note la double coïncidence de l'extrémité de l'ombre avec chacune d'elles. On a ainsi des vérifications qu'on peut multiplier autant qu'on veut, et qui sont d'autant plus utiles, qu'un nuage en passant devant le disque solaire peut rendre nulles quelques-unes des observations.

Il ne faut pas oublier que ce procédé doit être mis en usage le même jour ; car la hauteur du Soleil variant d'un jour à l'autre, les longueurs d'ombre varient elles-mêmes pour une même heure avant ou après midi[2].

1. On s'assure de cette dernière condition à l'aide du fil à plomb.
2. Dans la figure qui précède, ce n'est pas l'extrémité de l'ombre

Ce procédé est d'ailleurs fondé sur un fait d'observation qu'il est bon de retenir dès maintenant :

L'arc diurne décrit chaque jour par le Soleil, par la Lune ou par une étoile quelconque, sur la voûte céleste est divisé en deux parties égales et symétriques relativement au plan méridien, par le point qui marque le maximum de hauteur de l'astre au-dessus du plan de l'horizon.

Les points culminants de tous les arcs diurnes sont contenus dans le même plan vertical qui est le plan méridien du lieu.

La direction de la méridienne étant obtenue, on donne, comme nous venons de le dire, le nom de *Midi* ou *Sud* au point de l'horizon qu'elle va rencontrer du côté du ciel où le Soleil se meut tous les jours, et celui de *Nord* ou *Septentrion* au point diamétralement opposé.

Traçons maintenant sur le plan de l'horizon une ligne qui coupe la méridienne à angle droit, et tournons-nous vers le nord. Nous aurons à notre droite le point *Est*, et à notre gauche le point *Ouest*, aux deux points de l'horizon qu'ira rencontrer cette seconde ligne.

Deux fois par an, au commencement du printemps et au commencement de l'automne, le Soleil se lève précisément à l'est et se couche les deux mêmes jours à l'ouest ; mais il n'en est plus de même pendant le reste de l'année. Tandis que, dans le cours des saisons du printemps et de l'été, le lever de l'astre et son coucher se font en des points de l'horizon oriental et occidental plus rapprochés du nord, en hiver et en automne, il se lève et se couche au contraire en des points plus rapprochés du midi.

Le Nord, le Midi, l'Est et l'Ouest, se nomment en astronomie comme en géographie les quatre *points cardinaux*.

Pour rendre l'orientation plus précise, on a coutume de partager la circonférence de l'horizon en un nombre de points intermédiaires plus considérables, dont la dénomination se

dont on note la coïncidence avec les arcs de cercle concentriques, mais un point lumineux, produit dans l'ombre par le passage des rayons solaires à travers un trou, pratiqué au centre d'une rondelle qui surmonte la tige.

comprend d'elle-même ; et toutes les directions réunies qu'on obtient ainsi, forment une figure régulière à laquelle les marins ont donné le nom de *rose des vents*, parce qu'ils l'uti-

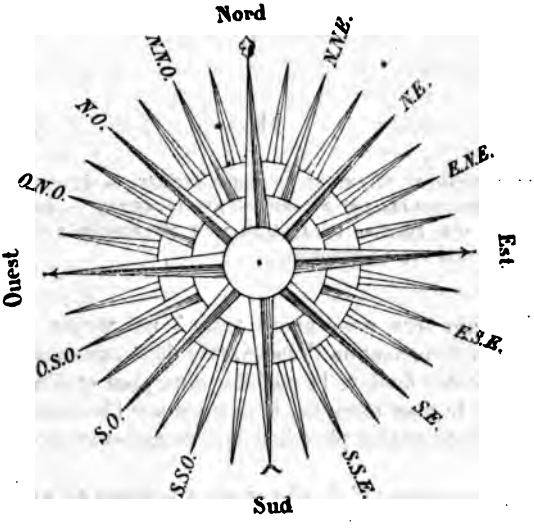


Fig. 2. Rose des vents.

lisent pour estimer en mer les directions variables des vents qui arrivent au navire de tous les points de l'horizon.

La direction de la méridienne, et par suite celle des lignes qui donnent les points cardinaux et ceux de la rose des vents, n'ont rien d'arbitraire. Elles sont constantes pour un même lieu, non-seulement pendant tout le cours d'une année, mais encore dans la suite des siècles. Nous verrons plus tard la raison de cette constance. Pour le moment, nous nous contenterons de répéter que ces directions sont en rapport, et avec le mouvement diurne du Soleil, et avec le mouvement de même nature de tous les autres astres que nous voyons briller dans la voûte céleste.

En effet, comme nous venons de le voir, la Lune et les dif-

mprend d'elle-même ; et toutes les directions réunies qu'on tient ainsi, forment une figure régulière à laquelle les ma- s ont donné le nom de *rose des vents*, parce qu'ils l'uti-

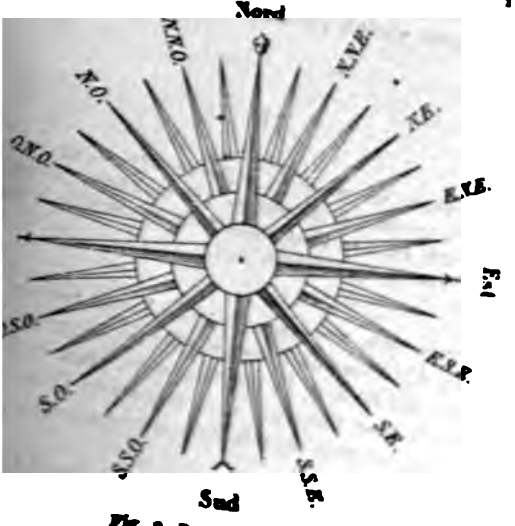


Fig. 2. Rose des vents.

ntimer en mer les directions variables des vents ns pavire de tous les points de l'horizon. n de la méridienne, et par suite celle des lignes les points cardinaux et ceux de la rose des vents, hémaire. Elles sont constantes pour un même ment pendant tout le cours d'une année, mais mite des siècles. Nous verrons plus tard la ensistance. Pour le moment, nous nous con- ter que ces directions sont en rapport, et avec ne du Soleil, et avec le mouvement de même ns autres astres que nous voyons briller dans

ous venons de le voir, la Lune et les dif-

férentes étoiles, en décrivant une série d'arcs, depuis le moment de leur lever, jusqu'à celui de leur coucher, s'élèvent au-dessus de l'horizon à une suite de hauteurs maximums qui offrent toutes cette circonstance, qu'elles ont lieu précisément quand l'astre vient à passer par le plan méridien.

II

ÉTUDE DU MOUVEMENT DIURNE DE LA VOUTE ÉTOILÉE. — ÉTOILE POLAIRE, ZONE DES ÉTOILES CIRCOMPOLAIRES. — AXE DU MONDE. — LES ÉTOILES DÉCRIVENT DES CERCLES PARALLÈLES D'UN MOUVEMENT UNIFORME. — — ORIENTATION PAR LA BOUSSOLE.

Maintenant que nous avons trouvé un moyen de nous orienter, en déduisant de l'observation du mouvement diurne du Soleil et des étoiles, la position d'un plan et d'une ligne invariables, le plan méridien et sa trace sur l'horizon, la méridienne, étudions avec plus de détails ce mouvement commun des astres.

Nous supposerons d'abord que nous sommes en un lieu de la Terre situé dans l'hémisphère boréal, en France, par exemple. Plus loin, nous verrons comment varie l'aspect des phénomènes célestes, quand l'observateur se transporte dans les diverses régions du globe terrestre.

Nous choisirons une belle nuit, un ciel sans nuages et sans lune ; l'éclat de la lumière lunaire ne permettant pas de voir avec autant de facilité les plus petites étoiles.

Commençons par nous assurer du mouvement qui entraîne les points brillants d'orient en occident. Rien n'est plus facile. Choisissant une étoile située de préférence dans la partie méridionale de la voûte céleste, nous nous placerons de manière à ce qu'elle semble toucher un objet voisin de nous, le bord d'un toit, d'un arbre, d'une cheminée; puis nous resterons immobile. Si l'obstacle est du côté de l'orient, nous ne tarderons pas à voir sa distance à l'étoile augmenter sans cesse ; s'il est à l'occident, l'étoile ira se cacher derrière lui,

et il nous faudra, pour continuer de la voir, nous pencher de plus en plus vers l'orient.

Quelques minutes pourront suffire à constater ce premier fait; mais si notre observation est plus prolongée, si elle dure une ou deux heures par exemple, le mouvement de progression de toutes les étoiles nous paraîtra très-marqué, et les arcs décrits par chacune d'elles seront d'une longueur très-aisée à apprécier par un simple coup d'œil.

En poursuivant notre examen, nous reconnaîtrons que, pendant toute la durée de la nuit, de nouvelles étoiles apparaissent sans cesse ou se lèvent sur toute la demi-circonférence orientale de l'horizon, du point nord au point sud. Pendant ce temps, les étoiles que le mouvement diurne amène successivement à l'horizon occidental, disparaissent sans cesse ou se couchent, tout le long de l'autre moitié de la circonférence.

Mais, pour toutes ces étoiles qui se lèvent et se couchent, la longueur des arcs parcourus sur la voûte céleste, et la durée de leur visibilité au-dessus de l'horizon sont fort variables. Il en est, vers le sud, qui ne font qu'une courte apparition, et se couchent presque aussitôt levées. A mesure que le point où les étoiles se lèvent s'éloigne plus du sud en se rapprochant de l'est, les arcs décrits sont plus grands, la durée du trajet plus longue. L'arc devient une demi-circonférence pour les étoiles qui, se levant précisément à l'est, vont, 12 heures environ après leur lever, se coucher à l'ouest.

Au delà, c'est-à-dire pour les étoiles dont le lever a lieu de plus en plus près du nord, les arcs que leur fait décrire le mouvement diurne sont de plus en plus grands, ou, pour parler plus exactement, sont des portions de circonférences qui approchent de plus en plus de la circonférence totale ; la durée de leur séjour au-dessus de l'horizon est de plus en plus considérable. Les plus rapprochées du nord même se lèvent, décrivent à peu près une circonférence entière, puis se couchent pour apparaître de nouveau et se lever presque aussitôt après leur coucher.

Enfin, si l'on se tourne vers l'horizon du nord, on aperçoit une vaste région de la voûte céleste qui se distingue de

celles que nous venons d'explorer par un fait très-remarquable, à savoir que toutes les étoiles dont elle est parsemée,

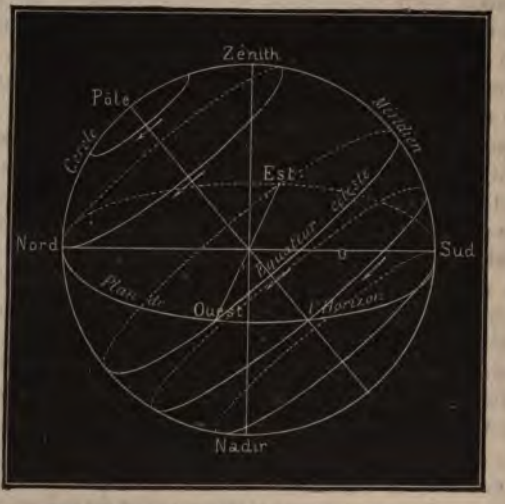


Fig. 3. Sphère céleste. — Mouvement diurne.

tout en participant au mouvement diurne, ne se lèvent ni ne se couchent jamais. Le jour seul, par sa clarté, les fait disparaître.

Les arcs qu'elles décrivent sont des cercles entiers, trop élevés au-dessus de l'horizon pour l'atteindre. Ces cercles sont d'ailleurs de plus en plus petits, à mesure que les étoiles sont plus voisines d'un point du ciel où l'on voit briller une étoile particulière, qui est elle-même à peu de chose près immobile.

C'est à cette étoile qu'on donne le nom d'*étoile polaire*, parce qu'elle marque à peu près la position du *pôle*, point qui ne participe pas au mouvement diurne et reste immobile dans la voûte céleste. La zone qui l'entoure et où, comme nous venons de le dire, se trouvent toutes les étoiles qui, dans le même lieu, ne se lèvent ni ne se couchent jamais, se nomme la zone *circompolaire*. Elle touche l'horizon

précisément au point nord. Les étoiles qu'elle compose reçoivent elles-mêmes la dénomination d'*étoiles circompolaires*. Mais nous verrons plus tard que l'étendue de cette zone varie suivant les horizons.

Une étude plus attentive du mouvement diurne a permis de reconnaître que les arcs décrits par les étoiles sont des portions de circonférence, ou des circonférences entières, toutes concentriques entre elles, de sorte que les arcs sont parallèles. Chaque étoile a de plus un mouvement uniforme, c'est-à-dire qu'elle décrit des arcs égaux en temps égaux. Enfin, la vitesse angulaire est la même pour toutes, ce qui veut dire qu'elles achèvent toutes un tour entier dans le même temps, qui est un peu moindre qu'un jour ordinaire de vingt-quatre heures. Une conséquence de cette uniformité, dont la vérification est facile à tout le monde, c'est que les étoiles conservent toujours, quelle que soit l'heure de la nuit ou l'époque de l'année, leurs mêmes distances relatives; de sorte que les figures qu'elles forment entre elles restent invariablement les mêmes. Nous allons voir bientôt qu'il y a quelques exceptions à cette règle.

En résumé, le mouvement diurne s'effectue comme si la sphère entière du ciel tournait uniformément autour d'un axe invariable, qui passe par un point fixe nommé *pôle* et aboutit au lieu de l'observation. Cette ligne a reçu des astronomes le nom d'*axe du monde;* mais il ne faut pas oublier que cette signification doit être restreinte aux phénomènes célestes, tels qu'on les observe de la Terre, et qu'elle n'a de sens que relativement à notre planète.

L'axe du monde va percer le ciel au-dessous de notre horizon en un second point, immobile comme le premier, dans une région d'étoiles invisibles pour nos contrées. On distingue les deux pôles l'un de l'autre en appelant celui que nous voyons *pôle boréal* ou *pôle nord*, et le pôle invisible pour nous *pôle austral* ou *pôle sud*[1].

1. Le pôle boréal se nomme aussi pôle *arctique* et le pôle austral, pôle *antarctique*. Nous verrons le sens de ces mots quand nous décrirons les constellations d'étoiles.

Si par l'axe du monde et par la verticale du lieu l'on imagine un plan, ce plan ne sera autre chose que le plan méridien. Nous avons déjà dit que ce plan coupant en deux parties égales les arcs décrits par chaque étoile en vertu du mouvement diurne, se trouve précisément passer par le point le plus élevé du cours de chacune d'elles. De là vient qu'on nomme *passage au méridien* la position d'un astre qui se trouve au point le plus élevé de son arc diurne.

Les étoiles circompolaires, décrivant des cercles entiers, passent deux fois en vingt-quatre heures par le méridien. De là, les dénominations de *passage inférieur* et de *passage supérieur*, pour distinguer l'un des phénomènes de l'autre.

Enfin, le plan vertical dont nous venons de parler donne le midi du lieu de l'observation, quand le centre du disque du Soleil vient précisément à coïncider avec lui. Nous verrons plus tard que ce midi n'est pas d'ordinaire celui que marquent les montres bien réglées.

Nous avons donné plus haut un procédé élémentaire pour

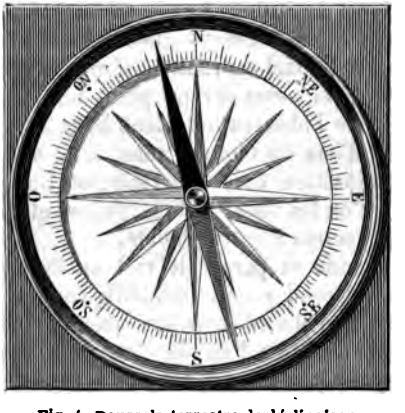


Fig. 4. Boussole terrestre de déclinaison.

déterminer la position du plan méridien. L'observation des étoiles fournirait un procédé analogue, et il suffirait de noter

deux positions de l'une d'elles, avant et après son passage au méridien, pour lesquelles l'étoile serait à des hauteurs égales au-dessus de l'horizon. Mais la mesure de ces hauteurs exige l'emploi d'instruments spéciaux.

L'aiguille aimantée, librement suspendue sur un pivot et pouvant tourner dans un plan horizontal, donne encore un procédé fort usité chez les marins et les voyageurs pour s'orienter dans un lieu quelconque. Ce moyen est d'autant plus précieux qu'il n'est pas toujours possible d'observer le Soleil ou les étoiles, quand le ciel par exemple est brumeux ou couvert de nuages.

L'instrument qui sert à ce genre d'observation est la boussole de déclinaison, formée par une aiguille magnétique suspendue sur un pivot, et pouvant tourner librement dans un plan horizontal (fig. 4). La direction de l'aiguille aimantée n'est pas exactement celle du méridien ; mais l'angle qu'elle fait avec ce plan étant connu pour chaque lieu, il est facile d'en déduire la direction de la méridienne. A Paris, l'ai-

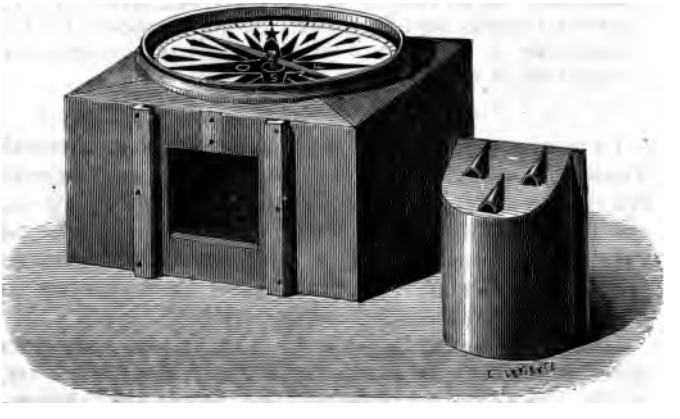


Fig. 5. Boussole marine.

guille aimantée se tournant à peu près à 19 degrés à l'ouest, faudra tourner la boussole de façon à ce que l'aiguille vienne

se placer dans cette position (à peu près dans la directior N.N.O.-S.S.E.). Alors la ligne marquée *nord-sud* sur le cercle divisé de l'instrument, donnera l'orientation cherchée.

Comme la déclinaison varie, non-seulement d'une année à la suivante pour un même lieu, mais encore d'un pays à l'autre, les marins ont besoin de cartes qui leur indiquent la valeur de cet élément pour toutes les mers qu'ils ont à parcourir. La figure 5 indique la forme qu'ils donnent à la boussole, quand elle doit servir simplement à indiquer l'angle que fait l'axe du navire avec la méridienne du lieu où il se trouve

III

MOUVEMENTS PROPRES DU SOLEIL, DE LA LUNE ET DE QUELQUES ÉTOILES PARTICULIÈRES, EN SENS CONTRAIRE DU MOUVEMENT DIURNE. — ÉNUMÉRATION DES ASTRES QUI COMPOSENT LE SYSTÈME SOLAIRE. — PLANÈTES INTÉRIEURES ET EXTÉRIEURES; LEURS SATELLITES. — GÉNÉRALITÉS SUR LES MOUVEMENTS DES PLANÈTES AUTOUR DU SOLEIL. — ZODIAQUE. — MOUVEMENTS DE ROTATION. — LA TERRE EST UNE PLANÈTE QUI A COMME LES AUTRES, DEUX MOUVEMENTS, L'UN DE TRANSLATION, L'AUTRE DE ROTATION. — SENS COMMUN DES MOUVEMENTS DE ROTATION ET DE TRANSLATION DE TOUS LES ASTRES DU SYSTÈME SOLAIRE.

Le mouvement diurne, avons-nous dit, est un mouvement d'ensemble, uniforme, auquel participe l'immense majorité des étoiles visibles, tant de celles qu'on peut voir à l'œil nu que de celles, beaucoup plus nombreuses, qu'on aperçoit dans la voûte céleste à l'aide des télescopes : la sphère étoilée se meut donc comme si elle tournait tout d'une pièce, en un jour à peu près, autour de l'axe du monde.

De là, pour toutes les étoiles qui conservent ainsi leurs distances relatives, la dénomination ancienne d'*étoiles fixes* que les astronomes modernes rejettent, depuis que l'observation a prouvé que ces astres se déplacent peu à peu. Cette fixité apparente, bien que toute relative, a permis de partager les régions célestes en groupes d'étoiles qu'on nomme *asterismes* ou *constellations*, et a rendu facile la connaissance de

l'aspect du ciel, caractérisé dans chaque groupe par les figures que forment les étoiles les plus brillantes. Nous donnerons plus loin la description des principales constellations célestes.

Pour le moment, nous devons appeler l'attention sur un fait d'une grande importance, que les personnes tant soit peu familiarisées avec l'aspect de la voûte étoilée, constateront elles-mêmes aisément.

Voici ce fait :

En examinant avec attention les positions relatives des étoiles, on reconnaît qu'un certain nombre d'entre elles, tout en participant au mouvement diurne, se déplacent à travers les constellations, de manière à faire exception à l'immobilité relative des autres. Ce déplacement est ordinairement sensible pour quelques-unes dans l'intervalle d'une seule nuit; pour d'autres, il exige un certain nombre de jours, à moins qu'on n'emploie pour les observer les instruments en usage dans les observatoires.

Parmi ces astres, il en est que leur aspect à l'œil nu ne distingue pas au premier abord des étoiles proprement dites : ce sont les *planètes* (d'un mot grec qui signifie *étoiles errantes*). D'autres ont d'ordinaire une apparence nébuleuse et laissent derrière elles une traînée de lumière : ce sont les *comètes*.

Enfin, le Soleil et la Lune ont aussi un mouvement propre distinct du mouvement diurne général. Pour la Lune, ce mouvement est assez rapide pour qu'on puisse le reconnaître la nuit, d'une heure à l'autre. Il suffit d'évaluer la distance d'une étoile voisine au bord le plus rapproché du disque de l'astre. Au bout de peu de temps, on verra varier cette distance et il sera aisé de reconnaître que la Lune s'est déplacée sur la voûte céleste, dans une direction précisément opposée à celle du mouvement diurne (fig. 6).

Fig. 6. Mouvement propre de la Lune sur la voûte céleste.

Une observation du même genre n'est pas possible pour le Soleil, parce que l'éclat de sa lumière empêche de voir les étoiles dans son voisinage. Mais on y parvient d'une façon non moins concluante : il suffit en effet de noter, une nuit donnée, les étoiles qui passent au méridien à l'heure de minuit. A cet instant, le Soleil passe au méridien inférieur, sous l'horizon. Pendant les nuits suivantes, à la même heure, on remarque que ce ne sont plus les mêmes étoiles qui passent au méridien, mais des étoiles plus orientales, celles qu'on avait observées la nuit précédente ayant déjà effectué leur passage. Ce changement devient de plus en plus sensible, à mesure qu'augmente le nombre des nuits écoulées depuis la première observation. Comme le mouvement diurne est uniforme, il faut donc qu'en réalité le Soleil retarde chaque jour sur les étoiles, ce qui revient à dire qu'il a, outre son mouvement diurne d'orient en occident, un mouvement propre en sens contraire, c'est-à-dire d'occident en orient.

Le mouvement propre du Soleil se manifeste encore par le changement successif qu'on observe dans le lieu de son lever et dans celui de son coucher, comme aussi par la variation de la hauteur maximum à laquelle il s'élève chaque jour au-dessus de l'horizon. Au contraire, une étoile quelconque se lève et se couche toujours aux mêmes points de l'horizon, en un lieu donné de la Terre, et parvient toujours à la même hauteur, à l'instant de son passage au méridien.

En résumé, il est un certain nombre d'astres qui, tout en participant à la rotation diurne de la voûte étoilée, se déplacent continuellement et périodiquement sur cette voûte, parmi les constellations que forment les étoiles proprement dites. Nous verrons comment les astronomes sont arrivés à rendre compte de ces déplacements, comment les mouvements réels de la Terre, de la Lune et des planètes expliquent les mouvements apparents des uns et des autres. En attendant, disons seulement que la fixité des étoiles proprement dites tient à l'énorme distance où elles se trouvent de la Terre, tandis que le Soleil, les planètes et les comètes sont comparativement très-rapprochées de notre globe, avec lequel elles forment un groupe, un système astronomique.

Essayons de donner une idée générale de la constitution de ce groupe.

Tout autour du Soleil qui est l'astre central du système, circulent huit planètes principales qui sont, dans l'ordre de leurs distances : *Mercure*, *Vénus*, *la Terre*, *Mars*, *Jupiter*, *Saturne*, *Uranus* et *Neptune*.

Faisons, pour le moment, abstraction de la Terre, et indiquons quels sont les principaux caractères distinctifs des sept autres planètes. Toutes, sauf Neptune, sont visibles à l'œil nu, à des époques de l'année variables, dépendant de la position qu'elles occupent sur la voûte céleste en vertu de leurs mouvements propres ; vues de la sorte, elles ont l'apparence d'étoiles ordinaires, plus ou moins brillantes, avec cette différence toutefois que leur lumière est le plus souvent douce, tranquille, tandis que celle des étoiles est perpétuellement mobile ou scintillante.

Observées à l'aide de télescopes d'un pouvoir grossissant suffisamment considérable, les planètes se présentent sous la forme de disques lumineux d'un diamètre appréciable, tandis que les étoiles paraissent toujours comme des points lumineux de dimensions insensibles.

Deux d'entre elles sont plus rapprochées du Soleil que la Terre ; on les nomme pour cette raison planètes *inférieures* ou *intérieures :* ce sont Mercure et Vénus. Elles se distinguent des autres par cette circonstance que leurs mouvements propres s'exécutent de part et d'autre du Soleil, sans s'écarter de cet astre au delà de certaines limites déterminées. Les mouvements propres de Vénus et de Mercure ont donc lieu, tantôt dans le sens du mouvement diurne de la sphère étoilée, tantôt en sens contraire. De plus, leurs disques offrent des phases semblables à celles de la Lune, parfois rondes, parfois échancrées en forme de croissant. Enfin, à certaines époques, on les voit passer au-devant du Soleil, sous l'apparence de taches noires et rondes.

Les cinq autres planètes sont dites planètes *supérieures* ou *extérieures*, parce qu'elles sont toujours plus éloignées du Soleil que la Terre. Par leurs mouvements propres, elles s'é-

cartent à toutes les distances possibles de la position du Soleil sur la voûte céleste. A certaines époques, leurs mouvements propres ont lieu dans le sens du mouvement diurne; puis après, en sens contraire, et dans l'intervalle elles restent un certain temps à peu près immobiles. Vus dans les lunettes, leurs disques présentent presque toujours la forme circulaire: leurs phases sont presque insensibles.

Outre les planètes principales, il en existe un grand nombre de beaucoup plus petites, presque toutes invisibles à l'œil nu : on les appelle pour cette raison *planètes télescopiques*. Le nombre de ces petits astres aujourd'hui connus est de 94, mais on en découvre tous les ans de nouvelles, qui circulent comme les planètes principales autour du Soleil : leurs orbites sont toutes comprises entre celles des planètes Mars et Jupiter.

Parmi ces 102 corps célestes qui exécutent périodiquement autour de l'astre central leurs mouvements de translation, dans des orbites à peu près circulaires [1], il en est 5 qui sont les centres de systèmes secondaires, c'est-à-dire que des astres plus petits se meuvent autour de ces planètes de la même manière que les planètes autour du Soleil. Ce sont : la Terre, Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune.

Comme les corps célestes dont nous parlons suivent constamment les planètes qui sont les centres de leurs mouvements, dans leurs révolutions périodiques, on leur a donné le nom de *satellites*.

La Terre a un satellite, qui est la Lune.

Jupiter en a quatre. En observant cette planète avec une lunette d'un pouvoir grossissant ordinaire, on aperçoit de petites étoiles rangées de part et d'autre de son disque et qui oscillent de chaque côté sans s'éloigner beaucoup de la planète.

Saturne a huit satellites. Le plus grand éloignement de cette planète et des suivantes rend plus difficile l'observation de leurs satellites et exige des lunettes d'une plus grande

1. Le mot *orbite* vient du latin *orbis*, cercle, mais les astronomes étendent la signification de ce mot à toutes les courbes qu'un astre décrit en se mouvant autour d'un autre, alors même que la route ainsi parcourue a une forme différente de celle du cercle.

puissance. Outre ces 8 satellites, Saturne est environnée de plusieurs anneaux concentriques qui entourent la planète sans la toucher.

Uranus a 4 satellites et Neptune un seul.

Le système solaire est donc composé de plus de cent corps célestes (121 dans l'état actuel des connaissances astronomiques) qui sont :

Le Soleil situé au centre du groupe;

102 planètes circulant périodiquement à des distances diverses autour du Soleil;

18 satellites se mouvant eux-mêmes autour de 5 des planètes principales.

Il faut y joindre un assez grand nombre de comètes, dont plusieurs sont reconnues périodiques, c'est-à-dire circulent en des temps connus autour du Soleil lui-même. Nous verrons plus tard par quels caractères particuliers les comètes se distinguent des autres corps du monde solaire.

Donnons maintenant une idée plus précise des mouvements planétaires.

Chaque planète, avons-nous dit, se meut autour du Soleil, et décrit dans son mouvement une orbite ou courbe, dont la forme ne diffère pas beaucoup de celle d'un cercle. Cependant chaque orbite est légèrement allongée, de sorte que sa forme réelle est celle d'une courbe ovale que les géomètres nomment une ellipse. L'allongement dont nous parlons varie d'une planète à l'autre. De plus, ce n'est pas au centre de chaque ellipse que le Soleil est situé, mais en un point particulier qu'on nomme *foyer*.

Toutes les orbites planétaires ont néanmoins cela de commun, qu'elles sont planes, et que le plan — plan idéal bien entendu — dans lequel chacune d'elles est tracée passe précisément par le centre du Soleil. L'orbite de la Terre est dans le même cas : elle a reçu pour des raisons que nous verrons plus tard, le nom particulier d'*écliptique* et son plan se nomme le *plan de l'écliptique*.

Comme toutes les observations célestes se font nécessairement sur la Terre, l'observateur est toujours dans le plan de

l'écliptique. D'où il suit que, pour nous, le plan de l'écliptique prolongé dans tous les sens jusqu'à la voûte céleste forme un grand cercle de cette sphère, grand cercle sur lequel se trouve à toute époque le centre même du Soleil

Mais les orbites des autres planètes ne sont pas décrites dans le plan dont nous parlons, de sorte que les planètes ne nous apparaissent pas, aux diverses époques de leurs révolutions dans le plan de l'écliptique. Elles s'en éloignent peu toutefois, parce que l'inclinaison de chacun des plans où elles tracent leurs orbites sur le plan de l'orbite de la Terre, est en général peu considérable.

Les mouvements propres des planètes nous semblent donc s'exécuter dans une région ou zone du ciel, peu étendue de part et d'autre du cercle de l'écliptique. C'est à cette zone, qui, avant la découverte des petites planètes, n'avait pas une largeur de plus de 17 degrés, qu'on donne le nom de *zodiaque*[1].

Cette dénomination de zodiaque est fort ancienne. Bien avant la découverte du véritable système du monde, on connaissait en Égypte, en Grèce, la marche apparente du Soleil et des planètes principales sur la voûte céleste. Les anciens astronomes avaient noté avec précision les constellations que le Soleil parcourt dans sa révolution annuelle. L'écliptique et la zone zodiacale avaient été partagés par eux en douze parties égales, et chacune de ces parties avait reçu le nom de la constellation qui y répondait alors.

Les voici dans l'ordre où elles se trouvaient, quand on suivait le mouvement propre du Soleil depuis le point de l'écliptique qui marque la position de cet astre à l'origine du printemps :

Le *Bélier*, le *Taureau*, les *Gémeaux*, le *Cancer*, le *Lion*, la *Vierge*, la *Balance*, le *Scorpion*, le *Sagittaire*, le *Capricorne*, le *Verseau* et les *Poissons*[2].

1. La planète télescopique Pallas a une inclinaison de 34 degrés : elle s'éloigne donc notablement du zodiaque ainsi que plusieurs planètes du même groupe.

2. Deux vers latins hexamètres permettent de retenir aisément l'ordre et les noms des constellations zodiacales. Les voici :

Sunt Aries, Taurus, Gemini, Cancer, Leo, Virgo,
Libraque, Scorpius, Arcitenens, Caper, Amphora, Pisces.

Mais, depuis deux mille ans, l'aspect du ciel a changé. Par un phénomène que nous décrirons plus tard, et auquel on donne le nom de *précession des équinoxes*, le Soleil, aux mêmes époques de l'année, ne se trouve plus dans les mêmes constellations qu'autrefois. Et cependant on a conservé aux douze parties du cercle de l'écliptique et de la zone zodiacale, les anciennes dénominations que nous venons de rappeler. Il faut donc bien comprendre que ces parties ou *signes*, dont chacune a une amplitude de 30 degrés sur la voûte céleste, marquent seulement les positions successives que le Soleil occupe dans le cours d'une année, et l'on doit se garder de confondre les signes du zodiaque avec les groupes et constellations d'étoiles dont ils continuent à porter les noms.

Nous n'avons parlé jusqu'ici, en décrivant le monde solaire, que du mouvement de translation ou de révolution que les planètes effectuent autour du Soleil. Il nous reste encore à indiquer un second mouvement dont tous les corps célestes sont animés, et à préciser le sens dans lequel l'un et l'autre mouvement est exécuté par chacun d'eux.

L'invention des lunettes et des télescopes a permis d'observer, sur les disques planétaires et sur celui du Soleil, des détails physiques à l'aide desquels on s'est assuré que chacun de ces astres a un mouvement de rotation sur lui-même, autour d'un axe dont la direction dans l'espace est invariable, ou du moins ne change que très-lentement. Le Soleil, Mercure, Vénus, Mars, Jupiter, Saturne, la Lune sont ceux dont la rotation a été constatée et mesurée en durée et en direction. Il est probable que la loi est générale, mais la petitesse des autres planètes ou leur grande distance n'en a pas encore permis la vérification.

La Terre, tout le monde le sait, n'échappe pas à cette loi. Elle tourne sur son axe en un peu moins d'un jour de vingt-quatre heures.

C'est ce mouvement de rotation qui produit le mouvement apparent diurne de la voûte étoilée, et qui explique la solidarité de la marche de cette multitude d'astres dont le ciel est parsemé. La réalité du mouvement de rotation de la Terre est démontrée par des preuves expérimentales décisives, sur les-

quelles nous reviendrons. Mais dès maintenant, nous pouvons nous faire une idée de l'extrême probabilité de cette vérité fondamentale.

Jadis, on s'imaginait le ciel comme formé d'une série de sphères concentriques sur lesquelles se mouvaient séparément les diverses planètes, le Soleil et les étoiles. Ou plutôt, c'étaient les sphères elles-mêmes qui, tournant uniformément avec des vitesses différentes entraînaient par leurs mouvements ceux des astres qui s'y trouvaient fixés. Mais ces conceptions absurdes ne méritent plus aujourd'hui un instant d'examen Les sphères de cristal sont à jamais brisées.

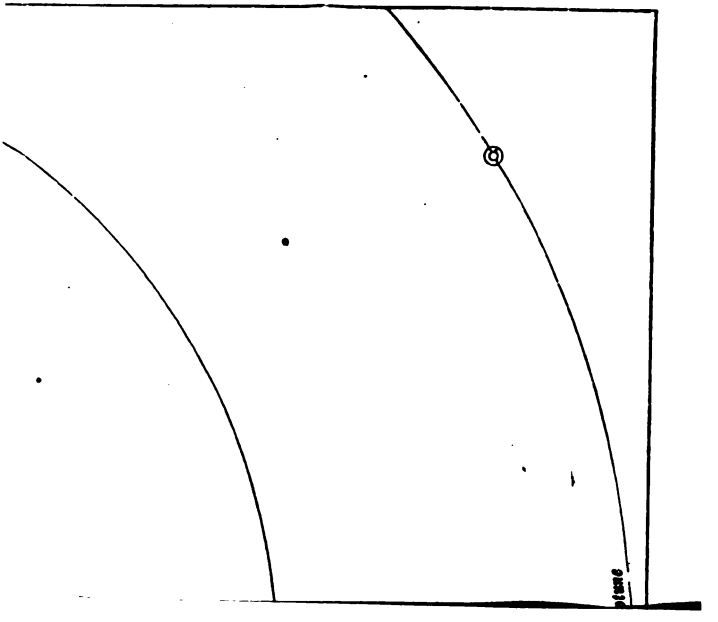
Pour expliquer le mouvement qui entraîne tous les astres d'orient en occident, et leur fait accomplir un tour entier dans l'intervalle d'un jour, il faut de toute nécessité, ou supposer que les astres se meuvent réellement, avec la même vitesse angulaire, quelles que soient leurs distances respectives, ou bien admettre que ce mouvement n'est qu'une apparence, ce qui revient à dire que la Terre tourne en sens inverse, ou d'occident en orient dans le même intervalle.

Dans la première hypothèse, il faut supposer que la vitesse réelle d'un corps céleste quelconque augmente avec sa distance; que la Lune, par exemple, se meut en parcourant 23 kilomètres par seconde, le Soleil 2300 lieues, Jupiter 11 500, Saturne 22 000, et que les étoiles proprement dites sont animées de vitesses qui surpassent de plusieurs milliers de fois celle de la lumière.

De tels mouvements, alors même qu'on n'aurait pas d'autres preuves du mouvement de rotation de la Terre, seraient, il faut l'avouer, bien invraisemblables[1]. Ce qui serait plus extraordinaire encore, c'est que des corps indépendants, semés à toutes les distances possibles dans les profondeurs des cieux, pussent se mouvoir de telle sorte que leurs mouvements vus de la Terre parussent toujours uniformes. Les

1. Sagredo, un des interlocuteurs des *Dialogues* de Galilée, dit avec un grand bon sens que : « faire mouvoir tout l'univers pour maintenir l'immobilité de la Terre, ce serait plus déraisonnable que d'exiger, pour voir Venise du haut de la coupole, qu'on fît mouvoir tout le pays, afin de n'avoir pas la peine de tourner la tête. »

Pl. I.



y a 360 degrés dans la circonférence entière.

[illegible] tout le pays, aura la peine de tourner la tête. »

inégalités prodigieuses dans les vitesses réelles que nous venons de signaler, auraient pour corollaires nécessaires des vitesses angulaires égales [1] !

Ainsi, voilà une vérité astronomique fondamentale, qu'il faut admettre comme un fait réel, démontré par toutes les probabilités, par l'analogie avec les rotations des autres planètes et par d'autres preuves déduites de l'observation, sur lesquelles nous aurons, nous le répétons, l'occasion de revenir. Cette vérité, la voici dans toute sa simplicité :

La Terre tourne sur elle-même, autour d'un axe dont la direction est donnée en chaque lieu par la ligne qui passe par les deux pôles célestes. Ce mouvement de rotation est uniforme, il s'effectue d'occident en orient, et s'accomplit entièrement dans l'intervalle d'environ 24 heures, plus exactement en 23 heures 56 minutes.

Comparons maintenant au sens du mouvement de rotation de la Terre, le sens des mouvements des autres astres qui forment le monde solaire.

Nous avons dit que les diverses orbites des planètes autour du Soleil sont situées dans des plans différents passant tous par le centre du Soleil ; mais que ces plans sont peu inclinés sur le plan de l'écliptique ou de l'orbite de la Terre.

Si donc un observateur pouvait s'élever au-dessus de ce plan et à une grande distance du monde solaire, de manière à voir ce monde de face, pour ainsi dire, il apercevrait à peu près au centre le globe du Soleil. A des distances très-inégales il verrait toutes les planètes décrire des courbes à peu près circulaires et concentriques, comme le laisse voir la figure I de la planche I.

Il constaterait, de plus, que tous ces mouvements s'effectuent dans le même sens, ainsi que le marquent les flèches tracées sur la circonférence de chaque orbite.

Si, de la distance où il se trouve, il était possible au même

1. Quand un point tourne autour d'un axe, on nomme *vitesse angulaire* le nombre de tours, ou la fraction de tours qu'il exécute dans l'unité de temps. Cette vitesse se mesure en degrés, étant admis qu'il y a 360 degrés dans la circonférence entière.

Les planètes [illegible] circulaires, dont les [illegible] orbite de la Terre. [illegible] même que celui des mouvements de [illegible] lieu d'occident en orient. [illegible] orbites que les satellites [illegible] sont pas soumis à cette [illegible].

LA TERRE EST UNE PLANÈTE [illegible]
LA DURÉE DU JOUR [illegible]
SON MOUVEMENT DE [illegible]
ET L'INCLINAISON DE SON AXE [illegible]
CESSION DES SAISONS

La Terre est donc une planète [illegible] ceux que leurs mouvements propres nous font distinguer sur la voûte céleste. Les étoiles proprement dites, quant à celles-ci, l'immensité des distances où elles se trouvent, non-seulement de la Terre, mais du groupe solaire tout entier, suffit pour rendre compte de leur apparente immobilité, et nous verrons que ce sont sans doute autant de soleils analogues au nôtre, disséminés dans les profondeurs [illegible].

Les deux mouvements simultanés de la Terre étant admis comme des vérités également démontrées par le raisonnement et par l'observation, examinons sommairement [illegible] ils rendent compte des phénomènes généraux propres à [illegible] planète.

Nous trouvons d'abord un premier phénomène [illegible] périodicité nous permet de mesurer [illegible] parler de la succession des jours [illegible] de la Terre qui détermine la durée du jour [illegible] bientôt l'occasion de définir d'une manière [illegible] qu'il faut distinguer dès maintenant [illegible] *journée*. Chaque jour, du moins pour [illegible]

observateur de distinguer, à l'aide des taches qui caractérisent la surface de chacun des globes, le mouvement de rotation du Soleil et des planètes, il verrait que le sens de ce mouvement est encore le même que celui du mouvement de translation. La figure 7 montre de quelle façon se présenteraient à lui les deux phénomènes, pour la Terre par exemple.

Fig 7. Sens des mouvement de rotation et de translation des planètes.

L'axe de rotation de la Terre n'est pas perpendiculaire sur le plan de l'orbite, mais incliné sur ce plan (d'environ 66 degrés). L'un des pôles terrestres étant au-dessous du plan, l'autre pôle est nécessairement au-dessus, car c'est le centre de la Terre qui décrit l'orbite. Supposons que le pôle nord soit au-dessus du plan, c'est-à-dire du même côté que l'observateur. Il verra alors la Terre, dont la rotation a lieu d'occident en orient, tourner sur elle-même dans un sens qu'on pourra caractériser en disant qu'il a lieu *de droite à gauche*. Eh bien, c'est aussi de droite à gauche qu'il verra notre planète effectuer son mouvement de révolution autour du Soleil. Il en sera de même pour la rotation du Soleil et pour celles de toutes les autres planètes. Il en sera de même encore et pour les mouvements de translation des planètes et pour les mouvements des satellites autour de ces dernières.

On doit donc maintenant saisir avec évidence la loi commune à tous ces mouvements, telle que nous la résumerons pour terminer ce chapitre.

Le Soleil et les planètes sont animés de mouvements de rotation uniforme, qui tous s'effectuent dans le sens du mouvement de rotation de la Terre, c'est-à-dire d'occident en orient. Ces mouvements s'effectuent autour d'un axe de direction à peu près invariable pour chaque planète, mais dont l'inclinaison sur l'orbite varie d'une planète à l'autre.

Les planètes décrivent autour du Soleil des courbes à peu près circulaires, dont les plans sont diversement inclinés sur l'orbite de la Terre. Le sens de tous ces mouvements est le même que celui des mouvements de rotation : ils ont tous lieu d'occident en orient. Enfin il en est de même pour les orbites que les satellites décrivent autour de leurs planètes.

On verra plus loin que les mouvements des comètes ne sont pas soumis à cette seconde loi.

IV

LA TERRE EST UNE PLANÈTE. — SON MOUVEMENT DE ROTATION DÉTERMINE LA DURÉE DU JOUR ET LA SUCCESSION DES JOURNÉES ET DES NUITS. — SON MOUVEMENT DE TRANSLATION DÉTERMINE LA DURÉE DE L'ANNÉE; ET L'INCLINAISON DE SON AXE SUR L'ÉCLIPTIQUE DONNE LIEU A LA SUCCESSION DES SAISONS.

La Terre est donc une planète, un astre semblable à tous ceux que leurs mouvements propres nous font distinguer, sur la voûte céleste, des étoiles proprement dites. Quant à celles-ci, l'immensité des distances où elles se trouvent, non-seulement de la Terre, mais du groupe solaire tout entier, suffit pour rendre compte de leur apparente immobilité ; et nous verrons que ce sont sans doute autant de soleils analogues au nôtre, disséminés dans les profondeurs du ciel.

Les deux mouvements simultanés de la Terre étant admis comme des vérités également démontrées par le raisonnement et par l'observation, examinons sommairement comment ils rendent compte des phénomènes généraux propres à notre planète.

Nous trouvons d'abord un premier phénomène dont la périodicité nous permet de mesurer le temps; nous voulons parler de la succession des jours. C'est la vitesse de rotation de la Terre qui détermine la durée du *jour*, que nous aurons bientôt l'occasion de définir d'une manière plus précise; mais qu'il faut distinguer dès maintenant de ce qu'on nomme la *journée*. Chaque jour, du moins pour une grande partie de la

surface de la Terre, se compose de deux portions distinctes : l'une, la journée, est celle pendant laquelle le Soleil est au-dessus de l'horizon ; l'autre, la nuit, est la portion du jour où l'astre radieux est couché. La durée du jour est sensiblement la même d'un bout de l'année à l'autre, pour tous les pays; il n'en est pas de même des journées et des nuits dont les longueurs relatives sont variables à la fois suivant l'époque et suivant la latitude du lieu.

Si la rotation de la Terre est la cause de la succession des jours, c'est son mouvement de translation qui détermine la durée de l'année. On entend en effet par *année* le temps que met notre globe à effectuer une révolution entière autour du Soleil, et l'on sait que c'est en un peu plus de 365 jours que ce mouvement de translation s'opère.

L'année se partage en quatre saisons de durées sensiblement égales, qui sont principalement caractérisées par les hauteurs diverses et variables où le Soleil s'élève chaque jour au-dessus d'un horizon donné. Ces variations de hauteur produisent des variations correspondantes dans les durées relatives des journées et des nuits, d'où résultent des changements dans la température et dans les autres éléments météorologiques.

La cause de la succession des saisons est due à l'inclinaison de l'axe de rotation sur le plan de l'orbite, combinée avec la forme et avec les dimensions de l'orbite terrestre.

Cette inclinaison est sensiblement constante dans le cours d'une année. De plus, l'axe reste toujours parallèle à lui-même ; de sorte que, suivant la position que la Terre occupe sur son orbite, elle présente directement au Soleil des régions différentes de sa surface. Nous ne faisons qu'indiquer ici des phénomènes que nous décrirons rigoureusement dans les chapitres consacrés aux mouvements de la Terre.

Des phénomènes analogues ont nécessairement lieu sur les autres planètes du monde solaire, puisqu'elles sont pareillement animées de deux mouvements, l'un de rotation sur un axe, l'autre de révolution autour du Soleil. A la surface de ces astres, on doit donc distinguer des jours, des journées et des nuits, des années et des saisons.

la durée de la rotation variant d'un astre à l'autre, il nécessairement de même de la durée du jour. Les ›nt aussi des longueurs fort différentes. Enfin, comme naisons des axes sur les plans des orbites sont loin a même valeur, et que d'ailleurs les distances respec- ; planètes au Soleil sont très-inégales, il doit en ré- ›s conditions fort diverses pour les variations de tem- › qui se succèdent d'une saison à l'autre.

nc parmi les planètes il en est d'habitées, ce qui est ›able, il est à croire qu'il existe entre les êtres orga- .i vivent à la surface de ces corps et ceux que nous ›ons à la surface de la Terre, des différences dont il difficile de nous faire une idée. Il faudrait pour cela e non-seulement les éléments astronomiques de cha- nète, mais la constitution de son sol, celle de son ›ère et une multitude d'autres notions physiques qui ront probablement à jamais à l'investigation de la

CHAPITRE PREMIER.

LA TERRE.

I

PREMIÈRES NOTIONS SUR LA FORME DE LA TERRE. — SON ISOLEMENT L'ESPACE. — PREUVES DE LA SPHÉRICITÉ DE LA TERRE; COURBURE CONTINENTS ET DES MERS. — EFFETS DU DÉPLACEMENT D'UN OBS TEUR LE LONG D'UN MÉRIDIEN. — ISOLEMENT DE LA TERRE DANS PACE; VOYAGES DE CIRCUMNAVIGATION. — CE QUE C'EST QUE TO SIGNIFICATION LOCALE DES MOTS HAUT ET BAS; LES ANTIPODES HORIZON RATIONNEL; HORIZON SENSIBLE OU APPARENT. — DÉPRE DE L'HORIZON SELON L'ALTITUDE.

Le Soleil et la Lune nous apparaissent à la vue si comme des corps de forme parfaitement ronde; en réalité sont des sphères dont la surface offre sans doute des as tés, mais ces aspérités ont des dimensions relatives trop bles pour altérer d'une manière sensible la forme géom que des corps auxquels elles appartiennent.

Tous les autres corps célestes du monde solaire, plan et satellites, observés dans les lunettes, se présentent également comme des disques à peu près circulaires; d'où l'on conclut que la forme réelle de ces astres est aussi celle de boules sphériques ou du moins sphéroïdales [1]. Il en est pro-

1. On appelle *sphéroïde* un corps dont la forme géométrique diffère très-peu de la forme d'une sphère.

bablement de même des planètes télescopiques qui la plupart ont des dimensions trop faibles pour que les instruments

Fig 8. Isolement de la Terre dans l'espace.

puissent, à la distance où elles sont de la Terre, accuser leur véritable forme.

Telle est aussi la forme de la planète que nous habitons. S'il nous était possible d'observer la Terre d'un point du ciel

suffisamment éloigné, nous la verrions sous l'apparence d'un globe presque sphérique, entièrement isolé dans l'espace. C'est là un fait que les plus anciens philosophes[1] avaient soupçonné, et qui se manifeste à nous par des preuves aussi nombreuses qu'aisées à vérifier. Passons-les successivement en revue.

L'horizon d'un lieu se présente à l'œil de l'observateur sous la forme d'un cercle, toutes les fois que les accidents du sol ne sont pas assez considérables pour en masquer la régularité. Dans les plaines, cette forme circulaire est déjà très-sensible ; mais en pleine mer, elle apparaît avec évidence. De plus, il est facile de prouver que le cercle qui limite ainsi la portion visible de la surface du sol ne marque pas la distance où s'arrête la vision distincte : car, si l'on s'élève à des hauteurs verticales de plus en plus grandes, le rayon du cercle horizontal s'agrandit et des objets d'abord invisibles apparaissent à des distances croissantes (fig. 9). Aussi les marins placent-ils en vigie, au haut des mâts, des matelots dont la fonction est de surveiller l'horizon et d'annoncer l'apparition des navires ou la terre ferme, invisibles pour ceux qui sont sur le pont du bâtiment. Sur le sommet des hautes montagnes, l'horizon est très-étendu : du mont Blanc, la vue peut s'étendre à une distance de plus de 200 kilomètres ; à la vérité, au delà de la moitié de cette distance, les objets n'apparaissent plus qu'effacés et confus.

La courbure de la surface des mers se manifeste surtout de la façon suivante. L'observateur qui, posté sur un point de la côte, voit un navire s'éloigner du port et gagner le large, constate que ce sont les parties inférieures, la coque, puis les bas mâts qui commencent par disparaître ; il peut distinguer encore les voiles supérieures, quand tout le reste du bâtiment a disparu sous l'horizon. Un phénomène tout semblable a lieu pour les marins qui montent le navire : la plage s'évanouit la première à leurs yeux, puis ce sont les

1. 600 ans av. J. C., Anaximandre soutenait que la Terre était ronde, et peu de temps après, les Pythagoriciens parvinrent à démontrer l'exactitude de cette affirmation.

régions basses des côtes, enfin en dernier lieu les sommets des collines ou des montagnes qui les bordent. La figure 10

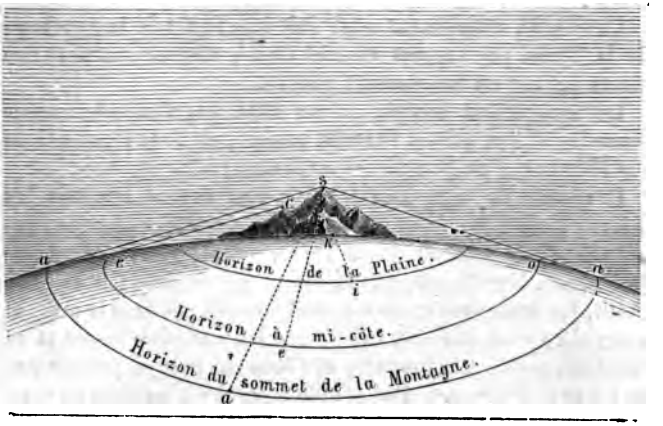


Fig. 9. Courbure des continents. — Horizons d'un même lieu, à diverses altitudes.

montre avec évidence la relation qui existe entre ces phénomènes et la courbure de l'Océan.

C'est encore pour la même raison que les habitants des vallées aperçoivent les sommets des montagnes illuminés par

Fig. 10. Courbure des mers. — Explication des divers aspects d'un navire qui s'approche des côtes.

les rayons du Soleil, avant que cet astre ne se lève pour eux, ou après qu'il est couché. En plaine, ce sont les nuages qu'on peut voir éclairés de la sorte, quand le sol est lui-même plongé dans l'ombre.

Les faits d'observation que nous venons de signaler se con-

statent en tous les points de la surface de la Terre. Celle-ci est donc sphérique, puisque la sphère est le seul corps dont une portion quelconque se voit toujours sous la forme d'un cercle.

Cherchons maintenant quel doit être l'effet de la courbure de la Terre sur l'aspect du ciel étoilé, abstraction faite des astres qui ont un mouvement propre.

Le mouvement diurne, avons-nous dit, s'exécute autour d'une ligne fixe qui est l'axe du monde, et dont l'inclinaison sur l'horizon d'un lieu donné est invariable.

Il résulte de cette invariabilité que ce sont toujours les mêmes étoiles qui s'élèvent au-dessus de l'horizon dans l'intervalle d'une rotation de la Terre, quelle que soit l'époque de l'année. Seulement, parmi celles qui se lèvent et se couchent, les unes sont au-dessus de l'horizon pendant la nuit, et alors elles sont visibles, tandis que les autres se lèvent et se couchent pendant la journée, et l'éclat du jour ne permet pas de les apercevoir. Les étoiles circompolaires, au contraire, ne s'abaissant jamais au-dessous de l'horizon, restent en vue pendant toutes les nuits de l'année.

Enfin, d'autres étoiles décrivant leurs circonférences diurnes au-dessous de l'horizon, ne sont jamais visibles dans le lieu considéré.

On voit donc que la sphère céleste peut se diviser en trois zones : la zone des étoiles circompolaires ou des étoiles perpétuellement visibles; celle des étoiles qui se lèvent et se couchent et dont la visibilité pendant la nuit dépend de l'époque de l'année où l'on se trouve ; enfin la zone des étoiles qui ne s'élèvent jamais au-dessus de l'horizon. Ces trois zones sont séparées les unes des autres par deux cercles tangents à l'horizon : l'un, au nord, se nomme le cercle de *perpétuelle apparition ;* l'autre, au midi, est le cercle de *perpétuelle occultation* (fig. 11).

Cela posé, voyons ce qui doit arriver lorsque l'observateur change d'horizon en se déplaçant dans la direction de la méridienne, soit du nord au midi, soit du midi au nord.

Si la Terre était plate, rien évidemment ne serait changé dans l'aspect du ciel. Le déplacement de l'observateur étant

comme nul relativement à l'immense distance où sont les astres, même les plus rapprochés de la Terre, les mêmes étoiles seraient en vue, les mêmes étoiles resteraient cachées au-dessous du plan de l'horizon.

Il n'en peut plus être de même, si la Terre est sphérique.

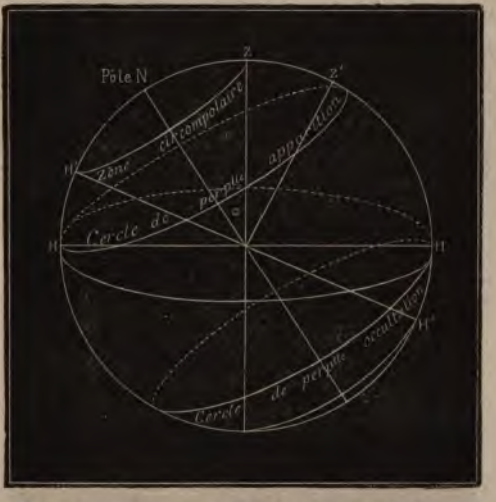


Fig. 11. Zones célestes de l'horizon d'un lieu.

Dans ce cas, en passant d'un horizon à l'autre, en s'avançant vers le sud par exemple, le voyageur plongera sous le plan du premier horizon, et sa vue découvrira du côté du midi des étoiles de la zone primitivement invisible. Du côté du nord, un certain nombre des étoiles qui se trouvaient dans la zone circompolaire se lèveront et se coucheront maintenant pour lui. La partie visible du ciel aura en définitive augmenté d'étendue.

L'inverse arriverait évidemment, s'il voyageait vers le nord; la zone des étoiles circompolaires augmenterait; mais, du côté du sud, un certain nombre d'étoiles qui se levaient et

temps après, à l'orient, ne peuvent effectuer un tel mouvement apparent qu'autant que la voûte céleste est librement ouverte au-dessous comme au-dessus de l'horizon.

D'ailleurs l'isolement de la Terre, ainsi que sa forme arrondie, sont des faits directement démontrés par les voyages de circumnavigation. Le premier de ces voyages a été effectué par un célèbre navigateur portugais, Ferdinand Magellan. Le 20 septembre 1519, il s'embarqua sur l'Océan, d'un des ports de Portugal, et se dirigeant vers l'occident, il parvint au continent américain récemment découvert. L'absence d'un passage qui lui permit de continuer sa route vers l'occident, le détermina à côtoyer l'Amérique dans la direction du sud, à doubler son extrémité méridionale par le détroit qui porte son nom, et à poursuivre sa navigation vers l'ouest. Il traversa la Mer du Sud, aborda aux îles Philippines où il périt; et son navire finit par entrer en Europe comme s'il venait de l'orient, après avoir achevé le tour entier du globe terrestre. Depuis, des voyages semblables se sont effectués fréquemment, tant par terre que par mer, et la rondeur de la Terre ainsi que son complet isolement dans l'espace, sont devenus des vérités familières fournissant de nouvelles preuves de la ressemblance du globe que nous habitons avec les autres planètes.

Nous venons de dire que la rondeur de la Terre et son isolement dans l'espace sont des faits qui ne rencontrent plus guère aujourd'hui de contradicteurs. Mais parmi ceux qui acceptent ces vérités comme irrécusablement démontrées par la science, il en est beaucoup néanmoins qui ne se font pas une idée bien juste de leur possibilité. Ils se demandent comment il se fait que la Terre puisse ainsi rester suspendue sans soutien, et comment les habitants et les objets isolés qui recouvrent sa surface peuvent se maintenir en équilibre sur les *côtés* et en *dessous* du globe. Ces objections que les personnes étrangères aux sciences mathématiques et physiques ont de la peine à écarter tout à fait de leur esprit, viennent de la fausse idée qu'on se fait de la chute des corps.

Qu'est-ce que tomber? A la surface de la Terre, ce phénomène a une signification très-nette. Un corps pesant, plus

lourd que le volume d'air qu'il déplace, abandonné à lui-même, se précipite de haut en bas dans la direction de la verticale du lieu. On connaît les lois de ce mouvement, et l'on sait que la chute des corps est due à une action constante de la masse de la Terre. Cette action a lieu comme si toute cette masse, réunie au centre de la sphère terrestre, attirait les corps situés à sa surface ou en dehors.

On sait aussi que si les corps plus légers que les couches inférieures de l'atmosphère, telles que la fumée, un ballon rempli de certains gaz, s'élèvent verticalement au lieu de tomber, ce phénomène est lié intimement aux conditions d'équilibre des fluides sous l'action de la pesanteur, de sorte

Fig. 14. Les verticales concourent à l'intérieur de la Terre. Antipodes.

qu'il est aussi une conséquence nécessaire de l'attraction de la Terre.

Or l'attraction de la Terre s'exerce du centre sur tous les points de la périphérie, et la direction de cette force est toujours celle de la verticale de chaque point.

La Terre étant sphérique, la verticale, quand on passe d'un horizon à un autre, s'infléchit insensiblement sans que nous

se couchaient au-dessus du premier horizon, seraient désormais plongées en-dessous et disparaîtraient totalement à sa vue : la partie du ciel visible aurait diminué.

Or, telle est précisément la variation d'aspect que présente la sphère étoilée à l'observateur qui se déplace à la surface de la Terre dans le sens d'un méridien quelconque. C'est donc encore une preuve nouvelle de la forme arrondie de notre planète.

Du reste, il suffit pour constater le phénomène que nous venons de décrire, d'observer la hauteur apparente du pôle céleste ou de l'étoile polaire au-dessus de l'horizon.

En France et dans tous les pays dont la latitude géographique est celle de Paris, l'étoile polaire est à peu près à égale distance du zénith et de l'horizon, un peu plus rapprochée du

Fig. 12. Mouvement diurne de la sphère céleste aux pôles.

zénith cependant. L'axe du monde y forme avec la méridienne un angle d'environ 49 degrés (48° 51').

Plus on avance vers le nord, plus cet angle augmente, plus le pôle s'élève, et si l'on pouvait pénétrer assez avant dans les glaces polaires, ou arriverait en un lieu où le pôle est le zénith même. Là, le mouvement diurne des étoiles s'effectue suivant des arcs parallèles à l'horizon, et aucune d'elles ne se lève ni ne se couche jamais. Toute une moitié de la sphère céleste y reste constamment invisible (fig. 12).

Plus au contraire on avance vers le sud, plus le pôle s'abaisse, et l'on finit par arriver en une région où les pôles sont précisément couchés à l'horizon. Là, les arcs diurnes décrits par les étoiles sont des demi-cercles perpendiculaires à l'horizon, et la sphère étoilée tout entière se lève et se couche dans l'intervalle d'un jour (fig. 13). Cette région forme l'équateur de la Terre.

Fig. 13. Mouvement diurne de la sphère céleste à l'équateur.

En continuant d'avancer vers le sud, c'est le pôle austral du ciel qui s'élève au-dessus de l'horizon, tandis que le pôle boréal plonge de plus en plus au-dessous. On finirait, si les explorations étaient possibles, par arriver en un lieu de la Terre où le pôle sud du ciel serait au zénith. Mais c'est l'autre moitié de la voûte étoilée qui effectuerait sa rotation diurne suivant des cercles tous parallèles à l'horizon.

Les deux points extrêmes dont nous venons de parler sont, le premier le pôle nord, le second le pôle sud de notre globe.

Nous avons vu plus haut que la Terre, comme toutes les planètes, se meut en une année autour du Soleil. Ce mouvement de translation exige évidemment qu'elle soit isolée dans l'espace, entourée de toutes parts par le ciel lui-même. C'est là une vérité qui ressort avec une pleine évidence de la périodicité du mouvement diurne. Les astres qui successivement se couchent au-dessous de l'horizon d'un lieu terrestre quelconque, et qu'on voit réapparaître quelque

temps après, à l'orient, ne peuvent effectuer un tel mouvement apparent qu'autant que la voûte céleste est librement ouverte au-dessous comme au-dessus de l'horizon.

D'ailleurs l'isolement de la Terre, ainsi que sa forme arrondie, sont des faits directement démontrés par les voyages de circumnavigation. Le premier de ces voyages a été effectué par un célèbre navigateur portugais, Ferdinand Magellan. Le 20 septembre 1519, il s'embarqua sur l'Océan, d'un des ports de Portugal, et se dirigeant vers l'occident, il parvint au continent américain récemment découvert. L'absence d'un passage qui lui permit de continuer sa route vers l'occident, le détermina à côtoyer l'Amérique dans la direction du sud, à doubler son extrémité méridionale par le détroit qui porte son nom, et à poursuivre sa navigation vers l'ouest. Il traversa la Mer du Sud, aborda aux îles Philippines où il périt; et son navire finit par entrer en Europe comme s'il venait de l'orient, après avoir achevé le tour entier du globe terrestre. Depuis, des voyages semblables se sont effectués fréquemment, tant par terre que par mer, et la rondeur de la Terre ainsi que son complet isolement dans l'espace, sont devenus des vérités familières fournissant de nouvelles preuves de la ressemblance du globe que nous habitons avec les autres planètes.

Nous venons de dire que la rondeur de la Terre et son isolement dans l'espace sont des faits qui ne rencontrent plus guère aujourd'hui de contradicteurs. Mais parmi ceux qui acceptent ces vérités comme irrécusablement démentrées par la science, il en est beaucoup néanmoins qui ne se font pas une idée bien juste de leur possibilité. Ils se demandent comment il se fait que la Terre puisse ainsi rester suspendue sans soutien, et comment les habitants et les objets isolés qui recouvrent sa surface peuvent se maintenir en équilibre sur les *côtés* et en *dessous* du globe. Ces objections que les personnes étrangères aux sciences mathématiques et physiques ont de la peine à écarter tout à fait de leur esprit, viennent de la fausse idée qu'on se fait de la chute des corps.

Qu'est-ce que tomber? A la surface de la Terre, ce phénomène a une signification très-nette. Un corps pesant, plus

lourd que le volume d'air qu'il déplace, abandonné à lui-même, se précipite de haut en bas dans la direction de la verticale du lieu. On connaît les lois de ce mouvement, et l'on sait que la chute des corps est due à une action constante de la masse de la Terre. Cette action a lieu comme si toute cette masse, réunie au centre de la sphère terrestre, attirait les corps situés à sa surface ou en dehors.

On sait aussi que si les corps plus légers que les couches inférieures de l'atmosphère, telles que la fumée, un ballon rempli de certains gaz, s'élèvent verticalement au lieu de tomber, ce phénomène est lié intimement aux conditions d'équilibre des fluides sous l'action de la pesanteur, de sorte

Fig. 14. Les verticales concourent à l'intérieur de la Terre. Antipodes.

qu'il est aussi une conséquence nécessaire de l'attraction de la Terre.

Or l'attraction de la Terre s'exerce du centre sur tous les points de la périphérie, et la direction de cette force est toujours celle de la verticale de chaque point.

La Terre étant *sphérique*, la verticale, quand on passe d'un *horizon à un autre, s'infléchit* insensiblement sans que nous

ayons conscience de son changement de direction. Ce changement n'en est pas moins réel, mais le haut et le bas étant deux notions toutes relatives, et qui, sur chaque horizon, sont nécessairement rapportées par nous à la verticale même, nous nous considérons toujours comme placés au sommet de la sphère. Et comme tous les corps pesants se trouvent pressés, en vertu de l'attraction terrestre ou de la pesanteur, contre la surface du globe en chacun de ses points, il en résulte qu'il n'y a, pour une sphère comme la Terre, n haut, ni bas, ni côtés.

Chaque point de notre globe a son *antipode*[1], c'est-à-dire un point diamétralement opposé, dont l'horizon est parallèle au sien, mais dont les verticales sont précisément dirigées en sens contraires. Après ce que nous venons de dire, on ne s'étonnera plus que les habitants de nos antipodes semblent avoir, relativement à nous, les pieds en haut, la tête en bas. Le centre commun d'attraction C (fig. 14) agit sur les uns et les autres de la même manière, et retient les corps à la surface par leur poids même.

C'est la même pression qui, tout autour du globe terrestre, retient les eaux de l'Océan et l'atmosphère, de sorte que la mer, les continents et l'air forment avec les couches internes de la Terre, une seule masse arrondie dans tous les sens et entourée de toutes parts par le ciel.

Puisque la notion de haut et de bas ou de chute des corps est liée à la forme de la Terre et à l'action de sa masse, il n'y a pas lieu non plus de se demander pourquoi elle ne tombe pas dans l'espace. Tout est semblable, autour de la Terre, dans toutes les directions du ciel : il n'y a donc aucune raison pour qu'elle se précipite dans une direction plutôt que dans une autre[2].

Maintenant que nous avons acquis sur la forme réelle

1. De deux mots grecs signifiant *pieds opposés*.

2. Nous verrons cependant plus tard que le Soleil est un centre d'attraction pour toutes les planètes, comme pour la Terre, et que les mouvements de translation de ces dernières s'exercent suivant des lois qui dépendent de l'action réciproque de leurs masses et de celle du Soleil.

de la Terre et sur ses mouvements, des notions exactes que nous aurons du reste l'occasion de préciser encore, donnons une définition plus rigoureuse de quelques-uns des termes que nous avons employés jusqu'à présent.

L'*horizon* d'un lieu est le plan perpendiculaire à la verticale de ce lieu, mené par un point du sol. Ce plan rase la surface, ou, comme on dit en géométrie, est tangent à la sphère, et c'est la ligne circulaire suivant laquelle il va couper la sphère étoilée qui forme l'horizon céleste.

Si l'on suppose un plan parallèle à l'horizon et passant par le centre de la Terre, il y aura entre ces deux plans toute l'épaisseur du rayon de notre globe. Mais ce rayon, quelque grand qu'il soit pour nous, est comme nul relativement aux distances des astres, de sorte que son intersection avec la sphère céleste coïncide en réalité avec l'horizon céleste du lieu. On confond donc ces plans l'un avec l'autre en astronomie, en leur donnant le nom commun d'*horizon rationnel*.

L'horizon rationnel coupe la sphère céleste en deux hémisphères égaux, l'un situé au-dessus et visible, l'autre invisible et au-dessous.

Si l'on suppose un observateur posté au milieu d'une vaste plaine, ou mieux encore, pour éviter les inégalités de la surface des continents, en un point de l'Océan, la portion de la surface terrestre qu'il pourra embrasser du regard dépendra évidemment de la hauteur à laquelle il se trouvera placé sur la verticale du lieu, de son *altitude*. C'est au cercle qu'il peut ainsi découvrir qu'on donne le nom d'*horizon sensible* ou *apparent*.

La figure 15 montre avec évidence que plus la hauteur de la station est considérable, plus la portion visible de la surface de la Terre est grande elle-même : le cercle TT, vu du point N, est moindre que le cercle T'T' vu du point N'. Mais en même temps que les dimensions réelles de l'horizon visible croissent avec la hauteur, l'angle que le rayon visuel tangent à cet horizon fait avec la verticale diminue : T'N'A est plus petit que TNA.

Cela revient à dire que le rayon visuel est d'autant plus déprimé au-dessous de l'horizon rationnel, que l'altitude de

l'observateur est plus grande : de là le nom de *dépression de l'horizon* donné à l'angle que le rayon visuel NT fait avec une ligne horizontale N*h* menée par le point N.

La dépression de l'horizon laisse voir à l'observateur une

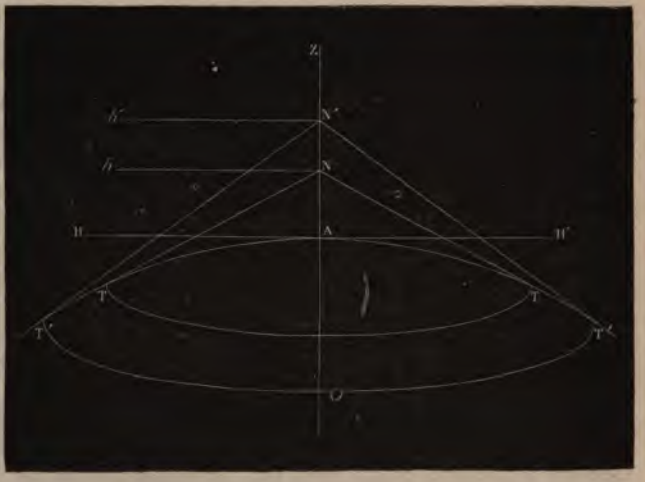


Fig. 15. Dépression de l'horizon.

portion de la voûte céleste un peu plus grande qu'un hémisphère. Les hauteurs apparentes des astres au-dessus de l'horizon sont donc plus grandes que si la station était à la surface de l'océan, ce qui nécessite pour certaines observations des corrections particulières.

II

FORMES ET DIMENSIONS DE LA TERRE. — COORDONNÉES GÉOGRAPHIQUES; LONGITUDES ET LATITUDES. — ZONES TERRESTRES. — FORME RIGOUREUSE DE LA TERRE; MESURE DE L'ARC D'UN DEGRÉ A DIVERSES LATITUDES; APERÇU HISTORIQUE. — LES DEGRÉS ONT DES LONGUEURS CROISSANTES DE L'ÉQUATEUR AUX PÔLES. — APLATISSEMENT DE LA TERRE. — DIMENSIONS DES DIFFÉRENTS DIAMÈTRES ÉQUATORIAL, POLAIRE, MOYEN; CIRCONFÉRENCES MÉRIDIENNE ET ÉQUATORIALE. — SURFACE ET VOLUME DE LA TERRE; HAUTEURS DES CONTINENTS ET DES MONTAGNES; PROFONDEUR DES MERS.

La Terre est ronde, de forme à peu près sphérique. Elle tourne, en un jour environ, autour d'un de ses diamètres dont la direction dans l'espace est fixe, et qui prend le nom d'*axe du monde*, quand on le considère relativement au mouvement diurne apparent de la sphère étoilée.

Deux points de la surface de la Terre restent immobiles. Ce sont les extrémités de l'axe de rotation ou les *pôles terrestres*, P et P′ (fig. 16).

Si par le centre de la Terre on imagine un plan perpendiculaire à l'axe, ce plan, qui coupe le globe en deux moitiés ou hémisphères, formera sur la surface un grand cercle EE′ qu'on nomme *équateur*.

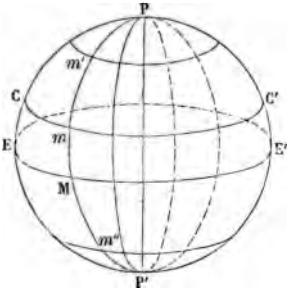


Fig. 16. Coordonnées terrestres. Longitudes et latitudes.

L'hémisphère qui contient le pôle nord est l'hémisphère boréal; l'autre, où se trouve le pôle sud, est l'hémisphère austral.

Tout cercle, tel que CC′, tracé à la surface de la Terre parallèlement à l'équateur, reçoit le nom de cercle parallèle ou *simplement de parallèle*. Il est évident que l'équateur est le

plus grand de tous les parallèles, et que les rayons de tous les autres parallèles vont en diminuant, à mesure que leurs distances à l'un ou à l'autre des pôles diminuent elles-mêmes.

Un plan qui passe par l'axe de la Terre la coupe aussi en deux parties égales, suivant une ligne qu'on peut considérer sensiblement comme un cercle : ce plan est ce qu'on nomme un *méridien*, et la courbe P*m'*m*M*m*''*P' est la méridienne aux horizons des lieux, *m'*,*m*,M,*m''*.

A l'aide des méridiens et des parallèles, on détermine exactement la position d'un lieu quelconque de la surface du globe. A cet effet, on prend pour point de départ un méridien connu : en France, c'est le méridien qui passe par l'Observatoire de Paris; en Angleterre, le méridien de l'Observatoire de Greenwich. Puis on mesure l'angle que le méridien du lieu considéré fait avec le méridien pris pour origine. Cet angle est ce qu'on nomme la *longitude*. Pour l'évaluer, on partage l'équateur en degrés, minutes et secondes, comptés à partir du 0 du premier méridien, soit à l'orient, soit à l'occident. La longitude est dite orientale ou occidentale, suivant que le lieu est situé dans l'un ou l'autre des hémisphères déterminés par le méridien initial.

Tous les points de la Terre situés le long de la même moitié d'un méridien ont évidemment même longitude.

Pour achever de déterminer la position du lieu, on compte le nombre de degrés, minutes et secondes compris sur le méridien, entre ce lieu et l'équateur : c'est ce qu'on nomme la *latitude* : *m*M est la latitude du lieu *m*. La latitude se compte de 0° à 90°, en allant de l'équateur aux pôles. Elle est *boréale* ou *australe*, selon que le lieu considéré est situé dans l'un ou l'autre des deux hémisphères que détermine le plan de l'équateur.

Tous les points de la Terre situés sur un même parallèle ont évidemment même latitude.

Telles sont les coordonnées géographiques en usage pour déterminer la position exacte d'un point de la surface de la Terre. Nous donnerons bientôt une idée des moyens empruntés à l'astronomie pour calculer la longitude et la latitude. Il importe seulement qu'on ne confonde pas les longi-

tudes et latitudes terrestres avec les coordonnées de même dénomination qui servent à fixer les positions des astres et dont nous donnerons plus loin la définition précise.

Les cercles parallèles à l'équateur sont naturellement en nombre indéfini : néanmoins on en distingue quelques-uns dont la position est liée, comme on le verra, avec les mouvements de rotation et de translation et avec la position apparente du Soleil aux diverses époques de l'année.

Ces cercles sont :

Les deux *cercles polaires* qui passent par les lieux de la Terre dont la latitude, soit boréale, soit australe, est 66° 33'. Le cercle polaire boréal se nomme ordinairement cercle polaire *arctique*, et l'autre cercle polaire *antarctique*[1];

Les deux *tropiques*, dont la distance à l'équateur est précisément égale à la distance des cercles polaires aux pôles. Les tropiques passent par les lieux de la Terre qui ont 23° 27' de latitude, boréale ou australe. L'un se nomme Tropique du Cancer; l'autre, Tropique du Capricorne.

Les tropiques et les cercles polaires divisent la surface du globe terrestre en cinq zones dont les noms indiquent la température habituelle particulière aux lieux qu'elles renferment : la zone *torride*, bande située entre les deux tropiques et comprenant par conséquent l'équateur; les deux zones *tempérées*, entre chaque tropique et le cercle polaire du même hémisphère; enfin les deux zones glaciales qui environnent les pôles au delà de chacun des cercles polaires.

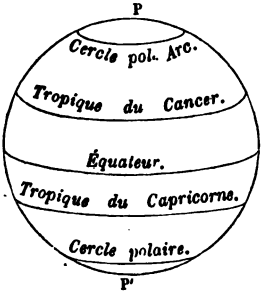


Fig. 17. Zones terrestres.

Si la Terre était rigoureusement sphérique, ou si du moins telle était la forme du globe qu'on obtiendrait en prolon-

1. Ces mots d'*arctique* et d'*antarctique* sont tirés de deux mots grecs dont l'un signifie *ourse* et l'autre *opposé à l'ourse* : c'est le nom d'une constellation *voisine du pôle* nord du ciel.

geant sous les continents la surface des eaux de la mer, tous les grands cercles tracés sur sa surface auraient exactement la même longueur. Dès lors, faire le tour de la Terre en suivant un méridien quelconque et en passant par les deux pôles, ou bien faire le tour de la Terre en voyageant le long de l'équateur, donnerait des chemins rigoureusement égaux.

En est-il ainsi dans la réalité? En d'autres termes la forme de la Terre est-elle bien celle d'une sphère, abstraction faite des aspérités de son sol?

Toutes les preuves que nous avons données de sa rondeur sont insuffisantes pour résoudre ce problème important. Aussi, quand il fut bien prouvé que la forme de la Terre est à peu près celle d'une sphère, on n'en resta pas là; et l'on imagina différents moyens plus précis de déterminer la forme véritable de notre globe. Il est bien facile de comprendre que la question serait résolue, si l'on pouvait connaître la forme et les dimensions d'un méridien et d'un parallèle quelconque.

On ne pouvait songer à mesurer directement un méridien tout entier, puisqu'une courbe de ce genre n'est d'ailleurs pas accessible dans tous ses points, notamment dans les portions voisines des glaces des pôles. Mais on essaya d'en mesurer une partie suffisamment grande pour que, de la longueur de cette partie, on pût conclure la longueur totale.

Essayons de donner une idée de cette opération fondamentale.

Imaginons un observateur qui part d'un point situé sur l'équateur de la Terre. En ce lieu, il verra passer au zénith, par l'effet du mouvement diurne, une série d'étoiles qui se trouvent toutes sur l'équateur céleste.

Avance-t-il vers le nord dans la direction d'un méridien, ce ne sont plus les mêmes étoiles qui passent à son zénith, mais des étoiles de plus en plus boréales, de plus en plus rapprochées du pôle nord du ciel. Or, si l'observation lui montre qu'il y a une distance angulaire de 1 degré entre deux étoiles qui passent simultanément au méridien, l'une au zénith du lieu où il se trouve, l'autre au zénith de l'équateur, ou ce qui revient au même dans l'équateur céleste, c'est qu'en réalité la nouvelle verticale fait un angle de 1 degré

avec la verticale du point de départ. Le chemin qu'il a parcouru est un arc de méridien de 1 degré.

En continuant de s'avancer vers le nord, l'observateur parcourra successivement des arcs de méridien de 2, 3, 4 degrés, etc. Il n'est pas indispensable d'ailleurs que l'origine de l'arc ainsi mesuré soit un point de l'équateur : tout autre point de départ donnerait un résultat équivalent.

En résumé, par une suite d'observations d'étoiles, on arrive à mesurer les angles des verticales successives d'un même méridien et par suite à trouver le nombre de degrés de latitude compris entre les points correspondants de ce méridien[1].

Cette première partie de l'opération effectuée, il reste à mesurer la longueur réelle, évaluée en unités connues, en mètres par exemple, de l'arc de méridien dont l'amplitude a été calculée.

Il est bien évident que si l'on supposait la Terre parfaitement sphérique, chaque méridien serait un cercle. Or, dans une circonférence, tous les degrés ont même longueur; il suffirait donc de connaître la longueur exacte d'un seul degré, pour en conclure la circonférence totale, en multipliant la première longueur par 360. C'est ainsi qu'on a procédé à l'origine[2].

Mais la sphéricité de la Terre n'était qu'une hypothèse, qu'il s'agissait précisément de vérifier. Il a donc fallu suivre une marche inverse et dire : si l'arc de méridien appartient à une circonférence de cercle, les longueurs des degrés successifs doivent être égales. Or, nous allons voir que la mesure di-

1. Cela revient en définitive, comme nous le verrons bientôt, à mesurer la différence de latitude des extrémités de l'arc choisi. Il n'est pas indispensable de considérer des étoiles qui passent au zénith, et si nous l'avons fait, c'est pour rendre plus simple l'intelligence de l'opération.

2. Ératosthènes mesura la différence de latitude de Sienne et d'Alexandrie, et de la distance connue de ces deux villes, il conclut que la circonférence de la Terre était de 250 000 stades, environ 45 millions de mètres. Posidonius, Ptolémée trouvèrent des résultats un peu inférieurs.

recte donne des résultats inégaux pour les différents degrés; on sera donc bien obligé de conclure que le méridien n'a pas la forme d'une circonférence de cercle et que le globe terrestre n'est pas sphérique.

Le médecin Fernel est le premier parmi les modernes qui ait entrepris de mesurer la longueur d'un degré du méridien. Il munit d'un compteur l'une des roues de sa voiture, et ayant parcouru la distance qui sépare Amiens de Paris, il trouva 57 070 toises pour le degré (1550).

Vers 1615, Snellius mesura un arc de méridien terrestre à l'aide de la méthode employée de nos jours. Cette méthode consiste à mesurer avec un grand soin une base, ou ligne tracée horizontalement sur le terrain, à regarder cette base comme le côté d'un premier triangle dont on mesure les angles à l'aide d'un cercle gradué, et à construire successivement une série ou chaînes de triangles, tous reliés les uns aux autres dans la direction du méridien.

Quand on connaît tous les éléments de ces triangles, on en déduit par le calcul les portions successives de la méridienne qui les traversent, et par suite la longueur totale de l'arc de méridien compris entre les stations extrêmes.

En 1769, Picard trouva 57 060 toises pour la longueur du degré, en mesurant une suite de triangles compris entre Malvoisine et Amiens.

Parmi les nombreuses mesures d'arc de méridien qui eurent lieu par la suite, citons celles de Bouguer, Lacondamine et Godin, qui mesurèrent, au Pérou près de l'équateur, un degré, pendant qu'une expédition ayant Maupertuis à sa tête en mesurait un autre en Laponie; celles de Delambre et Méchain qui calculèrent la longueur de la portion de la méridienne de Paris comprise entre Dunkerque et Barcelone; Arago et Biot prolongèrent cet arc jusqu'à Formentera, l'une des îles Baléares. Enfin de nombreux travaux du même genre ont été exécutés depuis et s'exécutent encore en différentes contrées.

La plupart de ces mesures s'accordent sur ce point :

Les divers degrés d'un même méridien ne sont pas d'égales longueurs; la Terre n'est donc pas rigoureusement sphé-

rique. De plus, ces diverses longueurs vont en croissant constamment de l'équateur aux pôles, ainsi qu'il résulte du tableau suivant, donnant les longueurs d'un arc d'un degré à diverses latitudes :

Lieux où les degrés ont été mesurés.	Latitudes.	Longueurs en mètres de l'arc d'un degré.
Pérou	1° 31′	110582m
Bengale	12° 32′	110631
Indes orientales	22° 37′	110668
France et Espagne	46° 8′	111143
Angleterre	52° 2′	111224
Russie	53° 25′	111360
Laponie	66° 20′	111477

La conséquence de cet accroissement de longueur des degrés est que la Terre est aplatie vers les pôles [1], c'est-à-dire que les méridiens, au lieu d'être des circonférences de cercle, sont des courbes qui approchent beaucoup de la forme d'une ellipse, ainsi que l'indique la figure 18, l'aplatissement étant du reste ici très-exagéré.

La ligne des pôles, ou l'axe de la Terre, est le plus petit diamètre commun à toutes ces ellipses méridiennes, et leurs plus grands diamètres forment les différents rayons du cercle de l'équateur. Quant aux verticales des lieux situés le long d'un méridien, elles ne concourent pas au centre : elles n'ont pas non plus un point de concours unique, ainsi que l'indiquent les propriétés géométriques de l'ellipse.

1. Il importe de se mettre en garde ici contre l'opinion erronée que quelques auteurs non géomètres (Bernardin de Saint-Pierre par exemple) ont émise comme une conséquence de l'inégalité de longueur des degrés du méridien. Pour eux, la Terre doit être allongée aux pôles. La raison de cette erreur provient de ce qu'ils regardaient à tort les verticales successives comme concourant au centre, et alors ils en concluaient que le rayon de l'équateur est inférieur à celui des pôles, puisque l'arc d'un degré s'y trouve plus petit. Mais la géométrie prouve au contraire, et la figure 18 en fait foi, que c'est près du grand diamètre de l'ellipse que la courbure est la plus prononcée, de sorte qu'il faut faire un moindre chemin sur les parties du méridien voisines de l'équateur pour que les verticales s'écartent d'un degré, que sur les parties plus rapprochées du pôle.

Disons maintenant ce qu'on entend par *aplatissement* de la Terre.

Le rayon équatorial surpasse, avons-nous dit, le rayon po-

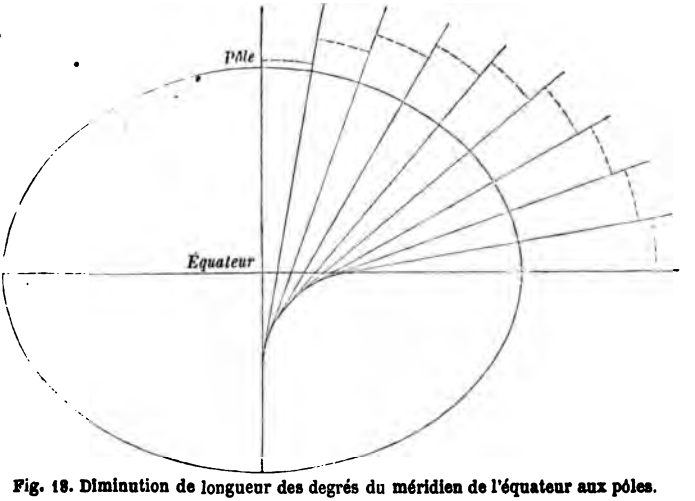


Fig. 18. Diminution de longueur des degrés du méridien de l'équateur aux pôles.

laire. De combien ? On peut répondre à cette question de deux manières, soit en exprimant la différence en mètres ou en lieues métriques, soit en disant quelle fraction elle forme du rayon équatorial pris pour unité. C'est à cette dernière valeur que les géomètres et les astronomes donnent le nom d'aplatissement, et c'est elle qu'il faut retenir pour se faire une idée de la forme véritable du globe terrestre.

Or, il résulte des mesures nombreuses des divers arcs de méridien que l'aplatissement de la Terre est $\frac{1}{299}$, c'est-à-dire que le rayon de notre globe aboutissant au pôle est inférieur à l'un des rayons du cercle équatorial d'environ la trois-centième partie de ce dernier.

Si donc on voulait représenter la Terre avec sa forme vraie, il faudrait construire un globe qui, ayant par exemple 30 centimètres de diamètre équatorial, se trouverait diminué

en hauteur, suivant la ligne des pôles, de la dixième partie d'un millimètre. L'œil ne pourrait certainement pas apprécier la différence de forme d'un tel globe avec une sphère.

En définitive, la Terre a pour forme véritable, abstraction faite des aspérités de sa surface, celle d'un *ellipsoïde de révolution*, c'est-à-dire d'un globe formé par une moitié d'ellipse tournant autour de son petit axe. Il y aurait bien encore à tenir compte des inégalités de courbure que présentent entre eux les divers méridiens et des inégalités mêmes qu'on a constatées sur les arcs de parallèles ; mais en se bornant à une approximation déjà très-suffisante, on peut regarder comme exact le résultat que nous venons de formuler.

Voyons maintenant quelles sont les dimensions réelles de la Terre.

Il résulte des opérations effectuées pour déterminer la longueur des degrés, que l'ellipse méridienne offre un développement total de plus de 40 millions de mètres[1] ;

Que le rayon équatorial mesure environ 6 377 000 mètres ;

Le rayon polaire, 6 356 000 mètres ;

Le rayon moyen entre celui des pôles et celui de l'équateur, ou ce qui revient au même, le rayon de la Terre considérée comme sphérique, 6 366 000 mètres.

Le renflement équatorial a donc une épaisseur d'à peu près 21 000 mètres, ou ce qui revient au même, on trouve 42 kilomètres pour l'aplatissement total du globe terrestre.

Ces dimensions vont nous permettre de nous faire une idée de la grandeur relative des irrégularités de la surface de la Terre, c'est-à-dire de celles qui proviennent de l'élévation des masses continentales au-dessus du niveau de l'Océan et des inégalités que les montagnes forment sur les continents eux-mêmes. On a calculé que la hauteur moyenne des terres

1. Elle aurait rigoureusement 40 000 000 de mètres, s'il ne s'était pas glissé, ainsi qu'on l'a reconnu plus tard, une erreur dans la mesure de l'arc de méridien exécutée par Méchain et Delambre. Cette conséquence serait forcée, puisque c'est cette mesure même qui a servi de base à la Commission du système des poids et mesures, laquelle a défini le mètre comme une *longueur* égale à la 40 000 000e partie du méridien.

au-dessus du niveau de l'Océan n'est guère plus de 300 mètres, environ la vingt-millième partie du rayon moyen.

Les plus hautes montagnes connues n'ont pas une altitude, ou hauteur verticale au-dessus des mers, de plus de 9000 mètres : ce n'est pas la sept-centième partie du rayon de la Terre. Sur un globe de 1 mètre de rayon, la plus haute montagne du globe, le Gaourisankar de l'Himalaya, ne dépasserait pas de 1 millimètre et demi la surface générale ; la plupart des autres aspérités seraient presque impossibles à distinguer. On se ferait donc une fausse idée de la forme de notre globe, si l'on comparait, comme on l'a fait souvent, ses inégalités aux rugosités de la peau d'une orange. Elles sont en réalité, comme on vient de voir, beaucoup moins sensibles.

Quant aux profondeurs de l'Océan, elles n'entameraient guère plus la surface du globe : en moyenne, cette profondeur est évaluée à 600 mètres, et le maximum ne paraît guère dépasser 10 000 mètres.

Voilà, pour les dimensions linéaires de la Terre. Mais la connaissance de ces dimensions et de la forme de notre globe conduisent aisément à des évaluations correspondantes de la superficie et du volume. On trouve ainsi :

Que la surface totale de la Terre, est d'environ 510 millions de kilomètres carrés, 440 fois la superficie de la France actuelle.

Sur cette étendue, les eaux de l'Océan occupent 383 000 000 de kilom. carrés ; 127 millions restent pour les continents et les îles qui forment ainsi le quart de la surface entière du globe. Quant au volume, il dépasse mille milliards de kilomètres cubes[1] (1 083 000 000 000). En considérant le renflement équatorial comme ajouté à la sphère qui aurait pour rayon le rayon des pôles, on trouve que le volume de cette protubé-

1. En supposant la Terre sphérique et son rayon égal au rayon moyen 6366 kilomètres, on calculera aisément la surface par la formule de géométrie $S = 4 \pi R^2$ et le volume par cette autre formule $V = \frac{4 \pi R^3}{3}$ ou mieux $V = S \times \frac{R}{3}$. Les résultats donneront, à peu de chose près, les nombres cités plus haut.

rance est la 150e partie de la sphère dont il s'agit, et par conséquent la 151e partie du volume total de la Terre.

Pour terminer ce qui concerne les dimensions de notre planète, nous donnerons ici, dans un tableau, quelques nombres utiles à retenir ou à consulter :

Rayon polaire		6 366	kilomètres.
Rayon équatorial		6 377	—
Rayon moyen		6 356	—
Circonférence d'un méridien		40 003 424	mètres.
Circonférence équatoriale		40 070 376	—
Circonférence du parallèle de 45°		28 042 200	—
Longueur du degré d'un méridien	polaire	111 690	—
	équatorial	110 585	—
	moyen	111 137	—
Aplatissement de la Terre		$\frac{1}{299}$	
Superficie totale du globe		510 000 000	kil. carrés.
— des mers		383 000 000	—
— des continents et des îles		127 000 000	—
Volume de la Terre		1 083 000 000 000	kil.cub.
Hauteurs des plus hautes montagnes au-dessus du niveau de l'Océan	Mont-Blanc (Europe)	4 815	mètres.
	Gaourisankar (Asie)	8 840	—
	Kilimandjaro (Afrique)	6 096	—
	Ténériffe (Afrique)	3 710	—
	Aconcaga (Amérique)	6 834	—
	Chimborazo (Équateur)	6 530	—
	Volcan de Mowna Roa (Océanie)	4 838	—
Profondeur maximum des mers	Atlantique austral	14 000 ?	—
	Atlantique boréal	10 400	—
	Océan Pacifique	5 000	—

III

PREUVES DU MOUVEMENT DE ROTATION DE LA TERRE. — HISTOIRE DE LA DÉCOUVERTE DU MOUVEMENT DE ROTATION DE LA TERRE. — PREUVES EXPÉRIMENTALES DE LA ROTATION; DÉVIATION ORIENTALE DES CORPS QUI TOMBENT LIBREMENT. — INVARIABILITÉ DU PLAN D'OSCILLATION DU PENDULE; DÉVIATION APPARENTE; EXPÉRIENCES DE M. LÉON FOUCAULT; GYROSCOPE. — DIMINUTION DE L'INTENSITÉ DE LA PESANTEUR DU PÔLE A L'ÉQUATEUR; EFFETS DE LA FORCE CENTRIFUGE; EFFET DU RENFLEMENT ÉQUATORIAL. — L'APLATISSEMENT DE LA TERRE EST UNE PREUVE DU MOUVEMENT DE ROTATION; EXPÉRIENCE DE M. PLATEAU. — DURÉE DE LA ROTATION; VITESSE DES POINTS SITUÉS A DES LATITUDES DIFFÉRENTES.

Que la Terre tourne sur elle-même, autour d'un axe dont la direction reste fixe dans l'espace, c'est ce que le mouvement diurne apparent nous a déjà fait reconnaître, comme un fait d'une grande probabilité. La difficulté de concevoir qu'un pareil mouvement puisse être effectué simultanément par tous les astres, les analogies que cette rotation de notre globe ajoute à toutes celles que l'observation a constatées entre notre planète et les autres planètes du monde solaire, sont des preuves de plus de sa réalité.

Mais nous allons voir que le mouvement de rotation de la Terre est susceptible de preuves directes, expérimentales, qui confirment les probabilités déduites des phénomènes astronomiques. Avant de les exposer, disons un mot de l'histoire de cette découverte capitale du mouvement de la Terre, si longtemps contestée dans les temps d'ignorance, et qui est aujourd'hui l'un des plus solides fondements de l'astronomie.

Quelques philosophes grecs, qui vivaient dans le quatrième et le cinquième siècle avant J. C., tels que Philolaüs de Crotone, Ecphantus, tous deux pythagoriciens, Héraclide de Pont, disciple de Platon et d'Aristote, et Nicétas de Syracuse, croyaient, dit-on, au mouvement de rotation de la Terre. Mais il ne reste d'eux aucun argument en faveur de cette

doctrine, qui était principalement professée par l'école de Pythagore.

Sénèque regarde la question comme douteuse et ne se prononce pas. Beaucoup plus tard, le chancelier Bacon, l'un des promoteurs de la réforme scientifique moderne, considère les mouvements de la Terre comme des hypothèses purement imaginaires (1620).

Dès 1543 cependant, Copernic avait démontré, dans son célèbre ouvrage des *Révolutions célestes*, la réalité des deux mouvements de translation et de rotation de notre globe. Mais la doctrine du chanoine de Thorn parut en contradiction avec divers passages du texte de la Bible, et condamnée par la congrégation de l'Index, elle se répandit d'abord avec assez de lenteur.

Dans les premières années du dix-septième siècle, le système de Copernic eut un retentissement qui le fit admettre définitivement au nombre des vérités scientifiques les mieux démontrées. Grâce à l'éclat des leçons de Galilée et au bruit que fit le procès intenté à ce grand homme par l'Inquisition (1633) le nom et les idées de Copernic acquirent une gloire dont sa mort ne lui avait pas permis de jouir. Galilée, plus hardi, lutta, mais en vain; malgré l'abjuration solennelle qu'il fut tenu de prononcer à genoux, il se vit au déclin de sa vie, abreuvé d'amertume et de dégoût, condamné à une détention perpétuelle.

C'est principalement dans le *Dialogue sur le système du monde* que tous les arguments pour et contre le mouvement de la Terre sont exposés par ce grand homme avec une admirable lucidité. Depuis cette époque, les partisans de l'ancienne idée de l'immobilité de notre globe sont devenus de plus en plus rares, et aujourd'hui cette erreur n'est plus qu'une curiosité de l'histoire des sciences.

Venons maintenant aux preuves expérimentales de la rotation terrestre.

Du sommet A d'une tour verticale, supposons qu'on abandonne à lui-même un corps pesant. Si la Terre était immobile, *il est clair* que le corps, suivant dans sa chute la

direction de la verticale qui est celle de la pesanteur, viendrait tomber en B, au pied même de la tour.

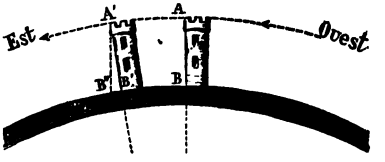


Fig. 19. Déviation orientale d'un corps qui tombe sous l'action de la pesanteur.

Si la Terre est en mouvement, les choses se passeront-elles de la même manière?

Les adversaires de la mobilité de la Terre, raisonnant sur le corps pesant comme s'il ne participait pas lui-même au mouvement de rotation, prétendaient que le point de sa chute serait situé à l'occident de la verticale ou du pied de la tour. Nous allons voir qu'ils raisonnaient mal, et que l'expérience est aussi contraire à leur conclusion.

En effet, au moment où le corps commence à tomber, il est animé d'une vitesse qui est celle du sommet même de la tour : cette vitesse se combine pendant tout le temps de sa chute avec celle que lui communique la pesanteur, de sorte que, en même temps qu'il parcourt une distance verticale égale à AB, il s'avance horizontalement de l'ouest à l'est d'une longueur égale à l'arc AA′ décrit par le sommet de la tour pendant le temps de la chute. Il viendra donc tomber en un point B″, situé à une distance orientale de la première position du pied B de la tour, égale à AA′.

Mais le point A est plus éloigné du centre de la Terre que le point B; l'arc AA′ est donc plus grand que BB′, et par conséquent le point B″ sera à l'orient du point B′.

Le raisonnement indique donc, pour les corps qui tombent librement dans l'air, une déviation orientale, à la vérité difficile à constater parce que, comme le calcul le prouve, elle est très-petite et se confond avec les causes

de déviation provenant par exemple des agitations de l'air. C'est à l'équateur que la déviation est la plus grande, la vitesse des points entraînés par la rotation terrestre étant plus considérable là qu'à toute autre latitude.

Ailleurs, la déviation a lieu vers le sud-est, au lieu de l'est même, ce qui tient à l'action de la force centrifuge dont nous parlerons bientôt. Des observations très-délicates, faites par M. Reich à Freyberg, dans un puits de mine de 158,^{m}5 de profondeur, ont accusé une déviation de 28,^{mm}3 : la théorie indiquait 27,^{mm}6. D'autres observateurs ont constaté ailleurs l'exactitude du même fait. Voilà donc une série d'expériences dont les résultats sont en contradiction complète avec l'immobilité de notre globe et prouvent dès lors la réalité de sa rotation.

Si l'on suspend une boule pesante à l'extrémité d'un fil,

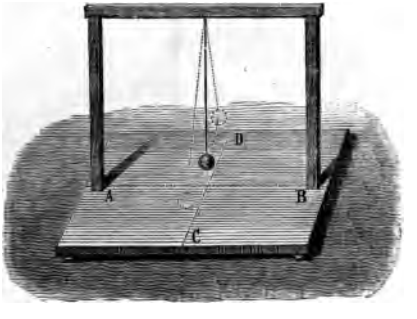


Fig. 20. Demonstration experimentale de la déviation du pendule.

et qu'après l'avoir écartée de la verticale, on l'abandonne à l'action de la pesanteur, cette force lui fera faire une série d'oscillations qui toutes auront lieu dans un même plan vertical, passant par le point de suspension.

On démontre en mécanique, et une expérience très-simple confirme ce fait, que si, pendant les oscillations du pendule, on fait tourner le plan auquel le point de suspension est lié,

le plan vertical dans lequel ont lieu les oscillations restera invariable. Si le premier était transporté d'une façon quelconque dans l'espace, le plan d'oscillation resterait parallèle à lui-même sur un même horizon.

Un appareil très-simple permet de constater ce fait. On fait d'abord osciller le pendule dans la direction CD (fig. 20), puis, pendant qu'il oscille, on fait tourner lentement l'appareil sur lui-même, de façon à lui donner la position marquée dans la figure 21. La direction C'D' du plan d'oscillation sera la même que CD, comme on pourra s'en assurer à l'aide de repères fixes pris hors de l'appareil.

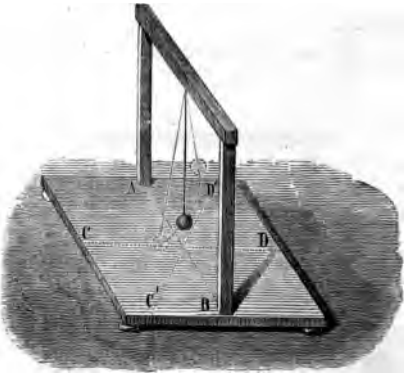


Fig. 21. Déviation du plan du pendule.

Seulement, sur le plan AB, le plan d'oscillation paraîtra avoir dévié en sens contraire de la rotation imprimée à l'appareil, et si l'on n'avait pas conscience de ce mouvement, il est clair que la déviation semblerait réelle.

Tel est le principe de l'expérience imaginée par M. Foucault.

Imaginons un pendule à un fil, d'une grande hauteur, suspendu à l'un des pôles de la Terre; une fois ce pendule en mouvement, le plan de ses oscillations restant invariable, s'il

coïncide d'abord avec le vertical d'une étoile, la coïncidence aura lieu indéfiniment. Comme le mouvement diurne fait décrire à l'étoile un cercle parallèle à l'horizon du pôle en

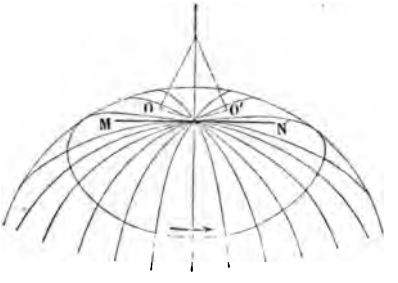


Fig. 22. Déviation apparente du plan du pendule au pôle.

24 heures, le plan d'oscillation du pendule paraîtra tourner en 24 heures autour de la verticale, en sens contraire par conséquent du véritable mouvement de rotation de la Terre.

Si le pendule était suspendu en un point de l'équateur, il n'y aurait plus de déviation. A l'équateur, en effet, si l'on prend par exemple pour ligne de foi la direction de la méridienne, cette ligne restant toujours parallèle à l'axe de rotation, l'angle que fait avec elle le plan d'oscillation, invariable lui-même, reste constant.

Il n'en est plus de même pour l'horizon d'un lieu situé à une latitude quelconque. Là, l'invariabilité du plan d'oscillation se manifeste par une déviation en sens contraire du mouvement de la Terre, mais moindre que la déviation au pôle.

Le pendule ne paraîtra donc faire le tour entier de l'horizon qu'en un temps plus long que 24 heures. Le calcul prouve qu'il faudrait deux jours à la latitude de 30 degrés, et à Paris, environ 32 heures, abstraction faite des retards occasionnés par le frottement et la résistance de l'air.

C'est à Paris, sous le dôme du Panthéon, que M. Léon Foucault avait suspendu son pendule, dont la pointe venait à

chaque oscillation ébrécher de chaque côté deux petits monticules de sable destinés à rendre la déviation sensible à la vue.

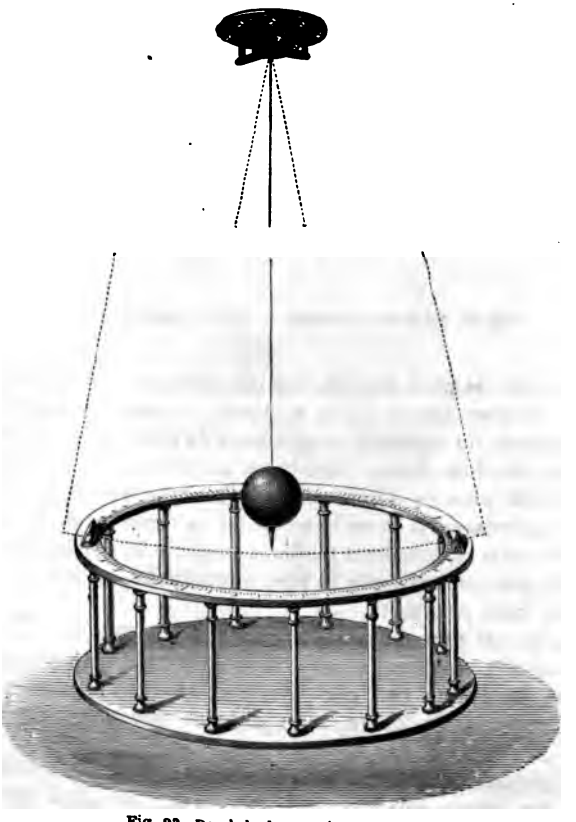


Fig. 23. Pendule de M. Léon Foucault.

C'est ainsi que le mouvement de rotation de la Terre, que nous ne pouvons sentir parce que tous les objets qui nous entourent, même à une grande distance, y participent avec

nous, devient visible par le changement apparent de direction du plan du pendule.

Un principe analogue a fait imaginer un second appareil, le *gyroscope*, dû également à M. Foucault, et qui prouve, comme le pendule oscillant à un fil, la réalité du mouvement de rotation de la Terre.

Quand un corps tourne autour d'un axe qui passe par son

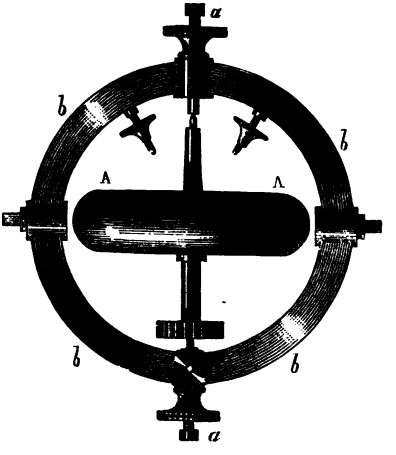


Fig. 24. Tore du gyroscope.

centre de symétrie, le plan dans lequel s'exécute ce mouvement de rotation conserve une direction invariable dans l'espace, pourvu que l'action de la pesanteur ne puisse influer sur ce mouvement pour le troubler d'une façon quelconque.

Le gyroscope se compose d'un tore circulaire en bronze, AA, qui peut tourner librement autour d'un axe *aa*, passant par son centre (fig. 24). Cet axe est soutenu lui-même par deux pivots, qui s'appuient sur un cercle ou anneau *bb*, portant deux couteaux prismatiques pareils aux couteaux de suspension des balances.

A l'aide d'un *appareil* particulier, on imprime un mouve-

ment très-rapide de rotation au tore, et on le porte en cet état sur l'anneau vertical BB′ de la figure 25.

Dans cette nouvelle position, le tore tourne dans un plan vertical, lequel plan peut, s'il y a lieu, osciller librement autour d'un fil auquel l'anneau BB′ est suspendu. D'ailleurs

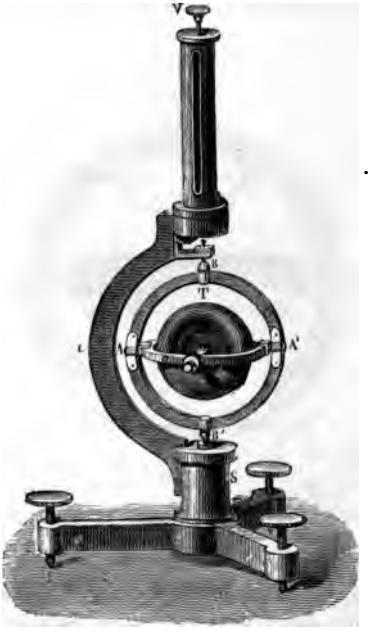


Fig. 25. Gyroscope de M. Léon Foucault.

l'anneau ne peut se mouvoir à la façon du pendule, grâce à une pointe qui s'appuie à la partie inférieure dans une ouverture assez large pour qu'il n'y ait pas de frottement.

Qu'arrivera-t-il maintenant ? Si la Terre est immobile, le plan du tore paraîtra invariable, comme il l'est en effet. Mais si la Terre a un mouvement de rotation, le plan de l'horizon

étant entraîné d'occident en orient, l'invariabilité de position du plan de rotation du tore sera accusée par une déviation apparente de ce même plan.

Or, c'est ce que l'expérience confirme, de sorte que le phénomène du gyroscope est encore une preuve expérimentale ou directe du mouvement réel de rotation de la Terre.

On démontre en mécanique et en physique que, dans tout mouvement circulaire autour d'un axe, il se développe à chaque instant et en chaque point de la circonférence, une force à laquelle on a donné le nom de *force centrifuge*, parce qu'elle tend sans cesse à éloigner du centre un point quelconque du corps en mouvement.

Une expérience familière, celle de la fronde, prouve l'existence de cette force. Tant que la pierre est maintenue par la tension de la corde, elle reste à la même distance du bras qui la fait mouvoir; mais aussitôt qu'on lâche l'un des bouts de la corde, la force centrifuge s'évanouit avec la tension qui lui était opposée, et le projectile se meut dans le prolongement de la direction du mouvement, c'est-à-dire s'échappe suivant une ligne qui est précisément la tangente à la circonférence décrite.

La force centrifuge croît rapidement à mesure que la vitesse angulaire de la rotation augmente (dans le rapport des carrés de cette vitesse). Mais si cette vitesse reste la même, la force centrifuge varie seulement, à la surface, dans le rapport des distances de chaque point de cette surface à l'axe de rotation.

La Terre tournant sur elle-même avec une vitesse uniforme, en chaque point de sa masse agit une force centrifuge, c'est-à-dire tendant à éloigner ce point de l'axe de rotation. Mais l'intensité varie avec la latitude : nulle aux deux pôles où la rotation est nulle, elle va en croissant jusqu'à l'équateur où elle est maximum.

Si la force centrifuge existait seule, les corps qui ne sont pas liés à la masse de la Terre par une cohésion moléculaire, s'échapperaient dans l'espace; l'atmosphère se dissiperait de même. Mais il est une autre force dirigée vers le centre, la *pesanteur*, qui contre-balance la force centrifuge et s'oppose

aux effets que nous venons de signaler. Cette force joue le rôle de la tension du cordon dans la fronde, avec cette différence qu'elle est de beaucoup supérieure à la force centrifuge.

La pesanteur n'est autre chose, comme la mécanique et la physique le démontrent, que la résultante des actions de toutes les molécules matérielles qui composent la Terre, et cette résultante est la même que si les masses de ces molécules étaient réunies au centre. On lui donne le nom d'*attraction* ou de *gravité*.

Newton a trouvé la loi suivant laquelle l'attraction varie : il a fait voir que cette force est directement proportionnelle aux masses des corps qui s'attirent, de sorte que si l'une d'elles restant constante, l'autre devient double, triple quadruple.... l'attraction deviendra elle-même double, triple, quadruple. De plus, elle est en raison inverse du carré des distances, c'est-à-dire 4, 9, 16, 25 fois moindre, si la distance devient 2, 3, 4, 5 fois plus considérable.

Il résulte de ce qui précède et de la forme aplatie de la Terre que l'intensité de la pesanteur à la surface doit être plus forte aux pôles qu'en tout autre point de la surface du globe, puisque, d'une part, les corps s'y trouvent plus rapprochés du centre de la Terre, et que, d'autre part, la force centrifuge qui contre-balance la pesanteur y est nulle.

A mesure, en effet, qu'on s'avance des pôles à l'équateur le rayon de la Terre augmente et l'intensité de sa pesanteur s'affaiblit ; de plus, la force centrifuge s'accroît. A l'équateur même, l'attraction de la masse de la Terre s'exerce avec moins d'énergie sur les corps situés à la surface. De plus, la force centrifuge développée par la rotation est plus grande, et elle agit en outre en sens précisément contraire de la pesanteur. Toutes ces raisons font que l'intensité de la pesanteur y devra être la plus petite possible.

C'est ce que confirme l'expérience : un pendule de longueur invariable transporté des pôles vers l'équateur, oscille de moins en moins vite ; ou, ce qui revient au même, la longueur d'un pendule qui bat les secondes est moindre à l'équateur qu'à toute autre latitude.

Les nombres donnés par les observations sont tels, qu'ils prouvent à la fois la forme ellipsoïdale de notre globe et la réalité de son mouvement de rotation.

Enfin, la forme aplatie de la Terre est elle-même un argument qui prouve cette rotation.

Lorsque, à une époque très-reculée, la masse entière de la Terre était encore fluide, sa surface n'étant point encore solidifiée par le refroidissement, l'attraction mutuelle des molécules aurait donné à l'ensemble la forme rigoureuse d'une sphère, si elle n'eût pas été animée d'un mouvement de rotation. Mais un tel mouvement donnant lieu au développement d'une force centrifuge opposée à la pesanteur, cette force tendait à éloigner les molécules de l'axe, et cela avec d'autant plus d'énergie que leur vitesse était plus grande, c'est-à-dire qu'elles étaient plus rapprochées de l'équateur. L'équilibre ne put exister que lorsque la masse eut pris la forme d'un sphéroïde aplati aux deux pôles de rotation.

Ces conclusions de la théorie sont rendues évidentes par une expérience due à M. Plateau. Une goutte d'huile, suspendue dans un liquide, en un point où la densité de ce dernier est la même que celle de l'huile, prend la forme sphérique, quand on la laisse immobile; mais à mesure qu'on lui imprime un mouvement de rotation à l'aide d'un disque mince de métal, dont le plan passe par son centre, on voit la sphère se déformer et se changer en un ellipsoïde d'autant plus aplati que la vitesse de rotation est plus grande.

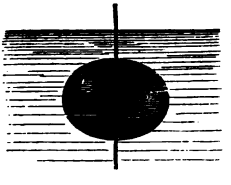


Fig. 26. Expérience de M. Plateau. Aplatissement d'une sphère liquide sous l'influence d'un mouvement de rotation.

C'est ce qui a dû arriver à notre planète à l'époque de sa fluidité primitive, et la forme qu'elle prit alors se conserva naturellement après la consolidation de sa surface.

Ainsi, l'aplatissement de la Terre reste comme un témoignage de l'influence de la rotation sur la forme et prouve l'existence primitive de ce mouvement.

Jusqu'à présent, nous avons considéré le mouvement de

rotation comme s'effectuant en entier dans l'intervalle d'un jour. Il n'en est pas ainsi rigoureusement.

Quand on mesure avec la précision que permet l'emploi des instruments astronomiques et des horloges les plus parfaites, le temps qui s'écoule entre les passages successifs d'une même étoile au méridien d'un lieu, temps précisément égal à la durée d'une rotation terrestre, on trouve que ce temps n'est pas tout à fait de 24 heures : il s'en faut de 3 minutes 56 secondes.

La durée d'une rotation est donc de 23 heures 56 minutes 4 secondes.

La vitesse de rotation étant uniforme et commune à tous les lieux du globe, il est aisé d'en déduire la vitesse qui entraîne un point quelconque, soit à l'équateur, soit à une autre latitude. La circonférence de l'équateur est de 40070376 mètres. En divisant ce nombre par 86164 secondes, durée de la rotation, on aura la vitesse d'un point pour une seconde. On trouve ainsi : 465 mètres.

A la latitude de Paris, la vitesse est 305 mètres ; elle n'est plus que 202 mètres à Reikiawitz, en Islande.

Nous avons dit que la force centrifuge développée par la vitesse de rotation contre-balance l'action de la pesanteur et diminue par conséquent son intensité. A l'équateur cette diminution est telle que le poids d'un corps, transporté des pôles à l'équateur même, y subirait une diminution de la 289e partie de sa valeur, du moins pour ce qui concerne l'effet dû à la force centrifuge : ce n'est pas tout à fait 3 grammes 5 par kilogramme.

On a calculé que si la vitesse angulaire de la rotation terrestre devenait 17 fois plus grande, la pesanteur se trouverait exactement équilibrée à l'équateur par la force centrifuge. Le poids d'un corps y serait nul.

IV

JOUR SIDÉRAL; TEMPS SIDÉRAL. — LUNETTE MÉRIDIENNE, OU INSTRUMENT DES PASSAGES. — CERCLES HORAIRES. — DÉTERMINATION DE LA POSITION D'UNE ÉTOILE; ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON; MESURE DE CES DEUX COORDONNÉES.

Un phénomène constant, qui se reproduit indéfiniment dans des périodes d'égale durée, est éminemment propre à servir de terme de comparaison ou d'unité pour la mesure des durées ou du temps.

Tel est précisément le *jour sidéral*, durée d'une rotation terrestre. Aussi, est-ce le phénomène choisi par les astronomes pour servir de régulateur à tous les instruments, horloges ou chronomètres, employés dans leurs observatoires.

Le jour sidéral se divise en vingt-quatre heures, comme le jour ordinaire que nous définirons plus tard; chaque heure en soixante minutes, et chaque minute en soixante secondes. Quand on évalue le temps à l'aide de ces subdivisions, il faut toujours avoir soin de les caractériser par les mots *temps sidéral*, afin qu'il ne puisse y avoir de confusion avec les subdivisions qui ont des dénominations semblables.

Une horloge construite de façon à marquer le jour sidéral, et dès lors à suivre rigoureusement le mouvement diurne des étoiles, est ce qu'on nomme une horloge *sidérale*. Mais, tandis que le mouvement diurne conserve perpétuellement son uniformité, le mouvement de l'horloge s'altère à cause de l'imperfection relative des rouages, de la résistance de l'air, des frottements; elle est, après un certain temps, soit en avance, soit en retard sur le mouvement diurne lui-même. L'observation de ce mouvement va donc servir à la régler.

Il ne suffit pas d'avoir fait choix d'une unité invariable et observable; il faut encore convenir du point de départ des mesures ou de l'*origine* du jour sidéral.

Les astronomes sont convenus de prendre pour origine l'instant où un certain point déterminé du ciel, situé sur l'équateur céleste, passe par le méridien. Quand ce point, dont la position dépend du mouvement propre du Soleil, et que nous ferons connaître plus tard, passe au méridien supérieur, la pendule sidérale doit marquer $0^h\ 0^m\ 0^s$.

Pour s'en assurer, on observe avec une grande précision les instants des passages d'un certain nombre d'étoiles connues au méridien supérieur : on nomme pour cela ces étoiles, *étoiles fondamentales*. Une fois que les heures sidérales de ces passages sont connues avec une exactitude qui va jusqu'aux centièmes de seconde, les observations ultérieures de leurs passages serviront à contrôler et à régler la marche de la pendule.

On emploie, pour ces observations, une lunette qu'on ap-

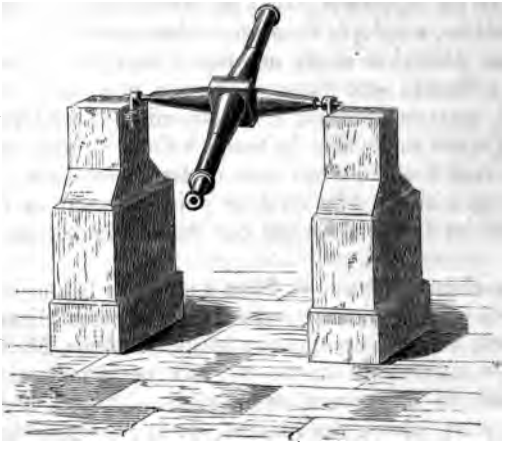


Fig. 27. Lunette méridienne.

pelle indifféremment *instrument des passages* ou *lunette méridienne*.

C'est une lunette astronomique dont l'axe optique peut

tourner librement autour d'un axe horizontal, auquel il est perpendiculaire, sans jamais sortir du plan méridien.

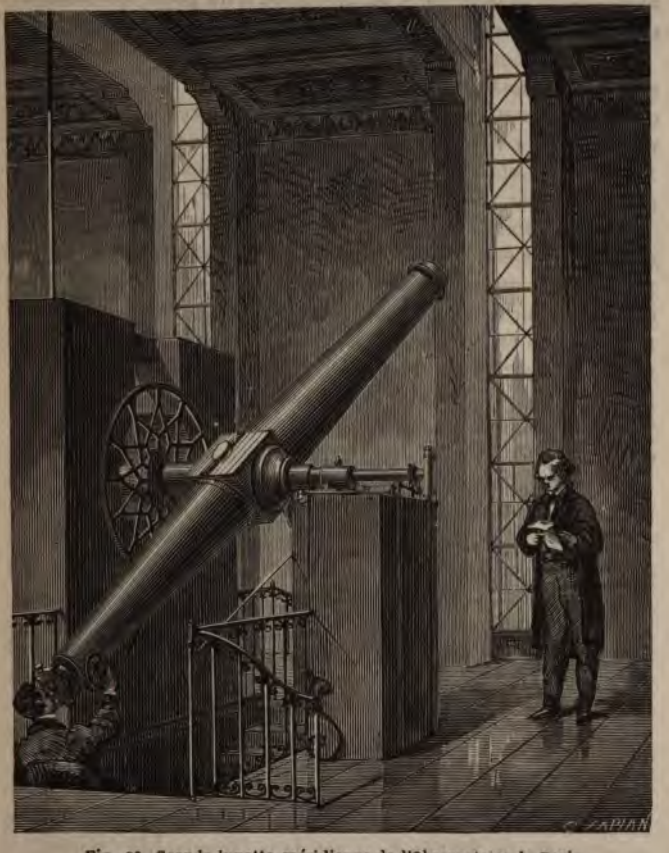


Fig. 28. Grande lunette méridienne de l'Observatoire de Paris.

Il résulte de cette disposition, que pour une inclinaison donnée de l'instrument, tous les points d'un même parallèle céleste viennent successivement, en vertu du mouvement

diurne, passer par son axe optique. Et comme on peut faire varier l'inclinaison de toutes les manières possibles, on peut aussi observer le passage au méridien d'un point quelconque de la voûte céleste.

Le mouvement diurne étant d'ailleurs un mouvement d'ensemble et uniforme, tous les points d'un parallèle quelconque défilent dans la lunette en 24 heures sidérales. En une heure on voit passer la 24e partie de la circonférence ou 15 degrés. Cela fait 15′ par minute de temps, ou 15″ par seconde sidérale.

Les astronomes ont partagé la voûte céleste par vingt-quatre demi-cercles équidistants dont chacun vient à son tour passer par le plan méridien, le premier de ces cercles correspondant au point de l'équateur d'où part l'origine du jour sidéral. Comme ces cercles défilent d'heure en heure, on les a nommés, pour cette raison, des *cercles horaires*. Les cercles horaires, qui passent par l'axe du monde et par les deux pôles du ciel, divisent donc tout parallèle céleste en 24 arcs[1] dont chacun a une amplitude de 15 degrés.

Veut-on maintenant déterminer la position d'une étoile sur la sphère céleste, on n'aura qu'à noter avec soin l'heure sidérale à laquelle s'effectue son passage au méridien, ce que permettent la lunette méridienne et une pendule sidérale bien réglée.

L'heure de ce passage exprimée, soit en temps sidéral, soit en degrés, minutes et secondes d'arc, indiquera sur quel cercle horaire se trouve l'étoile : c'est ce qu'on nomme son *ascension droite*. Il ne faudra plus, pour connaître rigoureusement sa position, que mesurer sa distance angulaire à l'équateur, ou ce qu'on nomme sa *déclinaison*.

Or, la figure 29 montre que cette distance E*e* est l'arc complémentaire de la distance angulaire de la même étoile au pôle céleste. Si l'étoile *e* est dans l'hémisphère boréal, il faut retrancher sa distance polaire de 90° pour avoir la décli-

1. Il y a 24 cercles horaires principaux; mais entre deux cercles horaires consécutifs, on en suppose un nombre indéfini, pouvant correspondre à tous les points d'un même parallèle.

naison. Si elle est australe, *e'*, c'est au contraire 90° qu'il faut retrancher de la distance polaire. La déclinaison elle-même est alors *boréale* dans le premier cas, *australe* dans le second.

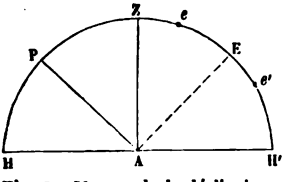


Fig. 29. Mesure de la déclinaison d'une étoile.

La distance polaire d'une étoile se mesure à l'aide de la lunette méridienne qu'on munit alors d'un cercle divisé installé parallèlement au plan méridien. Quand l'étoile passe par ce plan, et se trouve rigoureusement dans l'axe optique de la lunette, on peut mesurer l'angle que la direction de l'instrument fait avec l'axe du monde. C'est précisément là la distance polaire.

Or, la direction de l'axe du monde, qui est, comme nous savons, invariable dans la voûte céleste pour un même lieu, varie quand on passe d'une latitude terrestre à une autre. En d'autres termes, la hauteur angulaire du pôle sur l'horizon d'un lieu de la Terre dépend de la latitude de ce lieu.

Nous voilà donc amenés à dire comment on mesure cette hauteur, ou si l'on veut comment on peut déterminer par l'observation la latitude d'un lieu de la Terre. Nous verrons par la même occasion comment on détermine la longitude, et par suite nous pourrons nous faire une idée des opérations qui conduisent à la construction des cartes géographiques et des cartes célestes.

V

LONGITUDES ET LATITUDES GÉOGRAPHIQUES OU TERRESTRES. — MÉTHODES EMPLOYÉES PAR LES ASTRONOMES POUR LA MESURE DE CES COORDONNÉES. — DISTANCE ZÉNITHALE DU PÔLE. — MÉTHODE DES SIGNAUX DE FEU, DES CHRONOMÈTRES OU DE LA TÉLÉGRAPHIE ÉLECTRIQUE POUR MESURER LES LONGITUDES. — GLOBES ET CARTES. — PROJECTIONS ORTHOGRAPHIQUE ET STÉRÉOGRAPHIQUE. — DÉVELOPPEMENT DE MERCATOR.

Nous *avons dit que* pour déterminer la position des dif-

férents lieux situés sur le globe terrestre, on était convenu de partager sa surface par une suite de méridiens, divisant l'équateur et tous les cercles parallèles en degrés, minutes et secondes comptés à partir d'une origine commune. Cette origine est, pour la France, le méridien passant par l'Observatoire de Paris. En indiquant sur quel méridien se trouve un lieu donné, on énonce sa *longitude*, qui peut être orientale ou occidentale.

Chaque méridien étant partagé lui-même en degrés, minutes, etc., comptés de l'équateur aux pôles, le nombre de ces degrés compris entre le lieu donné et l'équateur, c'est-à-dire sa *latitude*, achève de fixer sa position, pourvu qu'on indique si le lieu est au nord ou au sud de l'équateur, en un mot, si la latitude est boréale ou australe.

Voyons maintenant par quel procédé se mesurent ces deux éléments ou coordonnées. Commençons par la latitude.

Il est facile de démontrer que la latitude d'un lieu A est

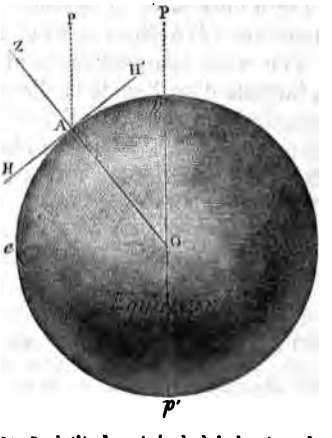


Fig. 30. La latitude est égale à la hauteur du pôle.

un angle précisément égal à la hauteur angulaire du pôle céleste au-dessus de son horizon.

La latitude Ae mesure en effet l'angle AOe formé au centre de la Terre par la verticale ZAO d'une part et par le rayon Oe de l'équateur. Or, cet angle AOe a ses deux côtés perpendiculaires aux lignes PA et AH'; donc la latitude est égale à l'angle PAH' formé par ces deux lignes. Et comme ce dernier angle a pour côtés la méridienne AH' du lieu et la ligne qui joint le point donné A au pôle céleste, il n'est autre chose que la hauteur angulaire du pôle au-dessus de l'horizon.

Ainsi, mesurer la hauteur dont le pôle s'élève sur l'horizon d'un lieu, c'est mesurer la latitude de ce lieu.

Les astronomes préfèrent mesurer directement le complément de la hauteur du pôle, c'est-à-dire l'angle ZAP, ce qu'ils nomment la distance zénithale du pôle. La raison en est qu'il est inutile alors de tenir compte de la dépression de l'horizon.

Montrons donc enfin comment se mesure cette distance zénithale.

A l'aide de la lunette méridienne observons une étoile circompolaire e (fig. 31) au moment de son passage supérieur au méridien. L'instrument donnera l'angle ZOe. En l'observant à son passage inférieur e', nous aurons l'angle ZOe'.

Comme l'étoile décrit un cercle autour du pôle, Pe = Pe'. Ainsi la ligne OP, ou l'axe du monde, divise l'angle eOe' en deux parties égales. Il résulte de là que

$$PZ = Ze + eP = Ze + \frac{1}{2}\left(Ze' - Ze\right)$$

$$PZ = \frac{Ze + Ze'}{2}$$

La distance zénithale du pôle est en définitive égale à la demi-somme des distances zénithales d'une étoile circompolaire, à ses passages supérieur et inférieur dans le méridien.

Cette distance connue, on la retranche de 90°, et l'on a enfin la hauteur du pôle, ou, comme nous l'avons fait voir, la latitude du lieu [1].

1. En mer, on mesure la hauteur du pôle à l'aide d'un instrument

Nous avons dit qu'on compte l'origine du *jour sidéral* à partir de l'instant où un point donné de l'équateur céleste

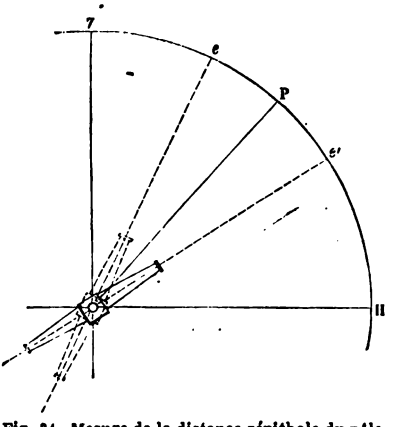


Fig. 31. Mesure de la distance zénithale du pôle.

passe au méridien. En ce moment, une pendule sidérale bien réglée marque $0^h\ 0^m\ 0^s$.

Mais il est bien évident que si l'on passe du méridien, où une telle pendule est installée, dans un méridien différent, plus occidental par exemple, l'heure ne sera plus la même, puisque le mouvement diurne n'amène le second méridien en coïncidence avec le cercle horaire du point origine, qu'un certain temps après le premier.

Ce temps est d'ailleurs d'autant plus considérable que la différence des longitudes est plus grande. Il renferme autant d'heures sidérales que cette différence contient de fois 15 degrés. Par exemple, quand la pendule sidérale du méridien de Paris marque $0^h\ 0^m\ 0^s$, celle d'un lieu dont la longitude orientale est de 15° marque 1 heure; à 30° elle marque 2 heures et ainsi de suite jusqu'à la longitude de 180°, où la

spécial nommé *sextant*, en observant la hauteur au-dessus de l'horizon de la mer d'un astre dont la déclinaison est connue.

pendule compte 12 heures. Au delà, l'heure croît toujours dans la même proportion; mais alors la longitude est occidentale, et pour l'exprimer, il suffira de retrancher l'heure marquée de 24, et de convertir le reste en degrés.

Ainsi, en résumé, il résulte de l'uniformité du mouvement diurne et de la définition que nous avons donnée du jour sidéral et de la longitude, que :

La différence de temps sidéral qui existe, au même instant physique, entre deux lieux de la Terre qui n'ont pas même longitude, donne précisément, si on convertit cette différence en degrés, minutes ou secondes, la différence de longitude de leurs méridiens. Si l'un d'eux est sur le méridien pris pour origine, sur le méridien de Paris, par exemple, la différence d'heures donne la longitude de l'autre.

Toute la question de la mesure des longitudes est donc ramenée à celle-ci :

Connaître à la fois, au même instant physique, l'heure sidérale du méridien de Paris et celle du lieu dont on veut déterminer la longitude.

Les moyens employés pour obtenir un tel résultat sont de plusieurs sortes.

Tantôt on emploie les signaux de feu. En un point intermédiaire entre les deux stations et visible de chacune d'elles, on fait brûler la nuit une certaine quantité de poudre. A l'instant où l'illumination a lieu, chaque observateur note l'heure marquée par la pendule sidérale du lieu où il se trouve. Si les stations sont trop éloignées, on poste des observateurs intermédiaires et l'on multiplie le nombre des signaux. Mais la méthode reste toujours la même et donne la différence de longitude des stations.

Tantôt on emploie la télégraphie électrique qui, permettant de transmettre instantanément, pour ainsi dire, un signal d'un lieu dans un autre, peut remplacer avantageusement les signaux de feu.

Les marins et les voyageurs se servent de chronomètres. Ce sont des montres construites avec une grande précision, qu'on a soin, au départ, de régler sur l'heure sidérale de Paris. Si le chronomètre ne se dérange pas pendant

le voyage, et si sa marche est étudiée et connue, on pourra connaître en un lieu et à un instant quelconques, l'heure de Paris. Les observations astronomiques feront trouver l'heure du lieu; d'où l'on déduira, par la règle que nous avons donnée plus haut, sa longitude.

Il est facile maintenant de comprendre comment on peut avoir une représentation de la surface de la Terre, en construisant en relief un globe sphérique, en traçant sur sa surface des cercles méridiens et des cercles parallèles, et en

Fig. 32. Globe terrestre.

marquant la position de tous les lieux dont la longitude et la latitude se trouvent déterminées avec précision.

De cette façon, les contours des continents, la configuration des diverses contrées, des rivières, des chaînes de montagnes, etc., sont reproduits avec une fidélité qui ne dépend que de celle des documents mêmes.

Mais, comme les globes ne sont pas, à cause de leur volume

et de leur poids, des objets faciles à transporter ni à manier, on a dû chercher les moyens de représenter, soit la sphère terrestre tout entière, soit des portions de sa surface, en traçant les détails géographiques sur un plan[1].

C'est à ces représentations géographiques qu'on donne le nom de *cartes;* et on nomme *mappemonde* la carte qui donne l'ensemble de la surface de la Terre.

Si la surface de la Terre était cylindrique ou même conique, il serait possible de la développer sur un plan, sans que la similitude des parties et leurs distances relatives fussent en rien altérées. Mais notre planète est à peu près sphérique: un tel développement est tout à fait impossible, de sorte qu'une carte plane est nécessairement une reproduction imparfaite de la Terre ou d'une de ses parties: c'est tantôt la forme, tantôt les dimensions des parties qui sont altérées, et même les deux à la fois, si la carte embrasse la totalité ou une grande partie de la Terre.

Les mappemondes sont un assemblage de deux cartes isolées dont chacune représente un hémisphère. Deux systèmes principaux sont employés pour les construire. Le premier qu'on nomme *système orthographique*, consiste à projeter par des perpendiculaires abaissées sur un grand cercle du globe terrestre, tous les points qu'on veut figurer sur la mappemonde.

Si l'on choisit par exemple un cercle méridien pour plan de projection, tous les autres méridiens seront représentés

1. M. J. Silbermann, préparateur de physique au Collége de France, est l'inventeur d'une presse nouvelle qui permet d'imprimer spontanément, soit sur une surface en relief, soit sur une surface concave, une gravure quelconque. Il applique ce système d'impression à la construction de globes sphériques, célestes ou terrestres, et à des portions quelconques du globe terrestre; il obtient ainsi une fidélité qui ne dépend plus que de celle de la gravure elle-même, et qui est bien supérieure à celle des globes construits par les anciens procédés. L'impression pouvant se faire sur toutes sortes de matières, les inconvénients propres aux globes se trouvent en partie supprimés. Il est grandement à désirer que l'usage des cartes et des globes de ce genre se répande dans l'enseignement et contribue à relever le niveau des études cosmologiques encore si arriérées en France.

le voyage, et si sa marche est étudiée et connue, on pourra connaître en un lieu et à un instant quelconques, l'heure de Paris. Les observations astronomiques feront trouver l'heure du lieu; d'où l'on déduira, par la règle que nous avons donnée plus haut, sa longitude.

Il est facile maintenant de comprendre comment on peut avoir une représentation de la surface de la Terre, en construisant en relief un globe sphérique, en traçant sur sa surface des cercles méridiens et des cercles parallèles, et en

Fig. 32. Globe terrestre.

marquant la position de tous les lieux dont la longitude et la latitude se trouvent déterminées avec précision.

De cette façon, les contours des continents, la configuration des diverses contrées, des rivières, des chaînes de montagnes, etc., sont reproduits avec une fidélité qui ne dépend que de celle des documents mêmes.

Mais, comme les globes ne sont pas, à cause de leur volume

et de leur poids, des objets faciles à transporter ni à manier, on a dû chercher les moyens de représenter, soit la sphère terrestre tout entière, soit des portions de sa surface, en traçant les détails géographiques sur un plan[1].

C'est à ces représentations géographiques qu'on donne le nom de *cartes;* et on nomme *mappemonde* la carte qui donne l'ensemble de la surface de la Terre.

Si la surface de la Terre était cylindrique ou même conique, il serait possible de la développer sur un plan, sans que la similitude des parties et leurs distances relatives fussent en rien altérées. Mais notre planète est à peu près sphérique: un tel développement est tout à fait impossible, de sorte qu'une carte plane est nécessairement une reproduction imparfaite de la Terre ou d'une de ses parties: c'est tantôt la forme, tantôt les dimensions des parties qui sont altérées, et même les deux à la fois, si la carte embrasse la totalité ou une grande partie de la Terre.

Les mappemondes sont un assemblage de deux cartes isolées dont chacune représente un hémisphère. Deux systèmes principaux sont employés pour les construire. Le premier qu'on nomme *système orthographique*, consiste à projeter par des perpendiculaires abaissées sur un grand cercle du globe terrestre, tous les points qu'on veut figurer sur la mappemonde.

Si l'on choisit par exemple un cercle méridien pour plan de projection, tous les autres méridiens seront représentés

1. M. J. Silbermann, préparateur de physique au Collége de France, est l'inventeur d'une presse nouvelle qui permet d'imprimer spontanément, soit sur une surface en relief, soit sur une surface concave, une gravure quelconque. Il applique ce système d'impression à la construction de globes sphériques, célestes ou terrestres, et à des portions quelconques du globe terrestre; il obtient ainsi une fidélité qui ne dépend plus que de celle de la gravure elle-même, et qui est bien supérieure à celle des globes construits par les anciens procédés. L'impression pouvant se faire sur toutes sortes de matières, les inconvénients propres aux globes se trouvent en partie supprimés. Il est grandement à désirer que l'usage des cartes et des globes de ce genre se répande dans l'enseignement et contribue à relever le niveau des études cosmologiques encore si *arriérées en France.*

par des ellipses ayant le diamètre des pôles pour axe commun, et cet axe sera lui-même la projection du méridien dont

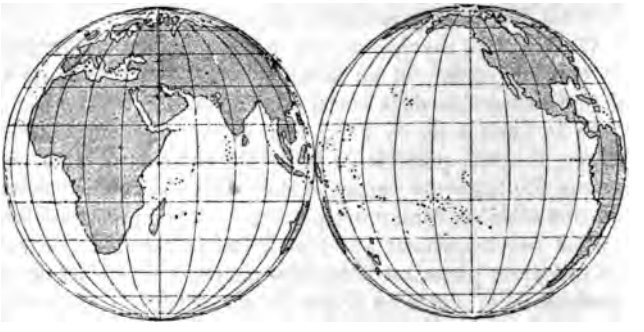


Fig. 33. Mappemonde dans le système de projection orthographique.

la longitude diffère de 90° avec celle du méridien sur lequel les hémisphères sont projetés.

Quant aux cercles parallèles, ils sont tous, ainsi que l'équateur, représentés par des lignes droites parallèles, toutes perpendiculaires au diamètre des pôles[1].

Ce genre de projection a l'inconvénient de déformer toutes les parties voisines des bords, qui se trouvent considérablement rétrécies, les régions centrales étant seules représentées avec leurs formes et leurs dimensions approchées. La Terre y apparaît telle que l'œil d'un observateur pourrait la voir à une grande distance : en ce cas, on sait que toutes les parties du globe avoisinant les bords sont vues d'autant plus obliquement qu'elles s'en trouvent plus rapprochées réellement. C'est ainsi que nous voyons le disque de la Lune et celui du Soleil, et, dans les télescopes, ceux des planètes.

1. La projection peut se faire sur le plan de l'équateur ou sur tout autre grand cercle de la sphère terrestre. Dans le premier cas, les méridiens se projettent suivant des rayons du plan de projection, et les cercles parallèles sont des cercles concentriques dont les rayons conservent leurs véritables longueurs et par conséquent sont égaux, chacun, au cosinus de la latitude.

Le second mode de projection a reçu le nom de *stéréographique*.

Imaginons la Terre transparente ; un observateur qui aurait l'œil placé à l'extrémité d'un diamètre verrait chaque point dans la direction de la ligne droite aboutissant du point lui-même à l'œil. Or cette ligne rencontrerait le grand cercle perpendiculaire au rayon terrestre de l'observateur en un point *a* qui est, dans ce système, la représentation du point A de la surface.

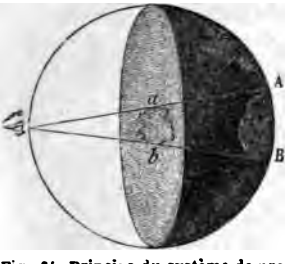


Fig. 34. Principe du système de projection stéréographique.

On démontre en géométrie que tout cercle tracé sur la sphère est projeté, dans le système stéréographique, sous la forme d'un cercle ou d'une ligne droite, et, de plus, qu'une figure très petite est représentée par une figure semblable. Les formes ne sont donc pas altérées ; mais

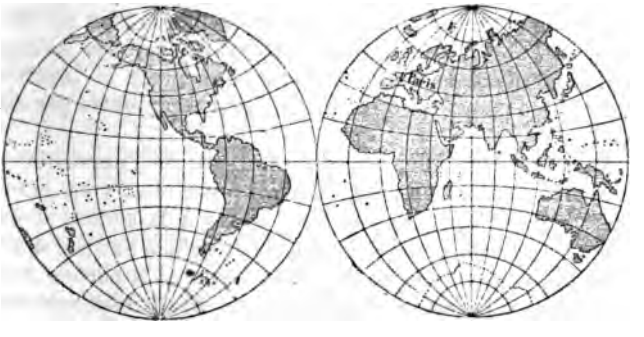


Fig. 35. Mappemonde dans le système de projection stéréographique. Projection sur un méridien.

les dimensions le sont. Tandis que les régions terrestres sont à peu près représentées en vraie grandeur sur les bords, elles sont au contraire rétrécies vers le centre (la proportion

est de moitié pour les dimensions linéaires, par conséquent d'un quart pour les surfaces). C'est un défaut inverse de celui que présentent les projections orthographiques.

La figure 36 donne la mappemonde projetée stéréogra-

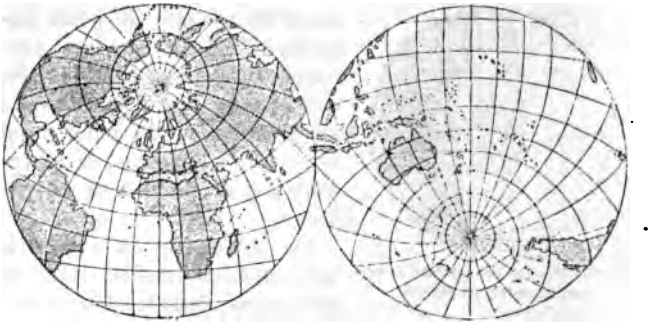


Fig. 36. Mappemonde dans le système stéréographique. Projection sur l'horizon de Paris.

phiquement sous la forme des deux hémisphères terrestres, ayant l'un et l'autre pour plan de projection le plan de l'horizon de Paris. Les méridiens sont figurés par des cercles, sauf le méridien de Paris lui-même, qui forme le diamètre central; les parallèles et l'équateur sont représentés par des cercles.

Tous les inconvénients qui résultent de l'impossibilité de représenter sur un plan, en vraie forme et en vraie grandeur, les points, lignes, surfaces tracés à la surface d'une sphère viennent, avons-nous dit, de ce qu'une surface sphérique n'est pas développable. A la vérité, si la portion dont on veut faire la carte a des dimensions très-faibles relativement à celle de la Terre entière, les erreurs se trouveront très-atténuées et finiront même par n'être plus du tout sensibles.

Pour arriver à ce dernier résultat, on a imaginé d'autres modes de construction, dans les détails desquels nous ne devons pas entrer.

Il nous suffira de dire qu'on suppose la portion restreinte, à représenter, comme se confondant avec un cylindre tangent à la Terre suivant un grand cercle, l'équateur par exemple, ou avec un cône tangent à un cercle parallèle. En développant sur un plan le cylindre ou le cône d'après les principes très-simples de la géométrie, on a la carte de la région qu'on se proposait de dresser.

La grande carte de France, dont l'exécution est due aux

Fig. 37. Développement de Flamsteed modifié. — Carte de France de l'État-Major.

ingénieurs géographes et aux officiers d'état-major et se rattache aux mesures méridiennes dont il a déjà été question, a pour principe le développement conique, mais modifié de façon que les arcs de méridien et les arcs parallèles conservent leur vraie grandeur.

Il faut citer aussi le système de développement dû à Mercator, lequel n'est autre chose que le développement cylin-

drique appliqué à la Terre entière, avec cette conditio
les méridiens se trouvant représentés par des droites
lèles, les cercles parallèles eux-mêmes sont d'autant p
pacés que leur latitude est plus considérable, ce qu
outre mesure les régions de la Terre à mesure qu'o
proche des pôles. Ce système de projection est empl
les marins, parce qu'il jouit de cette propriété que d
gnes droites tracées sur la carte forment le même an
les courbes dont elles sont la représentation, ce qui
aux marins de juger facilement de la direction de leu

CHAPITRE II.

LA TERRE.

I

MOUVEMENT PROPRE DU SOLEIL. — DÉTERMINATION DE SON ORBITE APPARENTE; ÉCLIPTIQUE. — INCLINAISON DE L'ÉCLIPTIQUE SUR LE PLAN DE L'ÉQUATEUR. — FORME RÉELLE DE L'ORBITE SOLAIRE. — VITESSE VARIABLE DU SOLEIL SUR SON ORBITE; VARIATIONS DE SON DIAMÈTRE APPARENT. — APOGÉE ET PÉRIGÉE, DISTANCE MOYENNE. — COORDONNÉES ÉCLIPTIQUES; LONGITUDE ET LATITUDE CÉLESTES.

Le Soleil est un des astres qui possèdent un mouvement propre sur la voûte céleste; nous avons déjà vu par quels phénomènes on peut constater son déplacement parmi les étoiles. Tout en participant au mouvement général que la rotation diurne de la Terre imprime à tous les astres, il paraît rétrograder d'un jour à l'autre, c'est-à-dire s'avancer lentement d'occident en orient, ou en sens contraire du mouvement diurne.

C'est ce mouvement propre, que nous verrons être aussi une apparence, qu'il s'agit d'étudier maintenant avec plus de précision.

Supposons que nous ayons à notre disposition un globe céleste, sur lequel on ait tracé, outre les cercles de la sphère, cercles horaires, équateur et parallèles, les points qui indiquent les positions relatives des étoiles principales des constellations; c'est là une construction dont nous avons

montré la possibilité en faisant voir comment les astronomes déterminent l'*ascension droite* et la *déclinaison* d'un astre quelconque.

Ce globe va nous servir à noter chaque jour la position exacte du Soleil sur la sphère, et à reconnaître ainsi quelle est la route suivie par l'astre dans son déplacement rétrograde. Il faut pour cela mesurer chaque jour son ascension droite et sa déclinaison, ce qui nécessitera l'emploi de la lunette méridienne et de la pendule sidérale. A la vérité, le Soleil n'est pas comme les étoiles un point lumineux ; son disque a l'apparence d'un cercle. Ce sont donc les coordonnées célestes du centre de ce cercle qu'il faudra mesurer. On y parvient aisément, en observant les passages successifs des deux bords oriental et occidental par l'axe optique de la lunette, et en prenant la moyenne des temps pour l'instant du passage du centre ; on mesure de même les distances zénithales des bords supérieur et inférieur du disque, et l'on prend la moyenne pour avoir la distance zénithale du centre et, par suite, la déclinaison.

Il est donc facile de marquer sur le globe céleste les points occupés par le Soleil pendant une série de jours, par exemple, dans le cours d'une année entière.

En joignant tous ces points ensemble par une courbe continue, (fig. 38) il est aisé de s'assurer que cette courbe a la forme d'un grand cercle de la sphère dont le plan est incliné sur le plan de l'équateur.

Telle est la route ou orbite apparente suivie par le Soleil dans le cours d'une année. Nous aurons plus tard l'occasion de dire pourquoi les astronomes lui ont donné le nom d'*écliptique*.

L'écliptique coupe nécessairement l'équateur en deux points diamétralement opposés : ce sont les *équinoxes*, ainsi nommés parce que le Soleil, occupant aux deux époques de l'année correspondantes, ces deux positions particulières, les jours et les nuits sont égaux alors par toute la Terre.

L'inclinaison de l'écliptique sur l'équateur — cette inclinaison est de 23° 27' environ — fait que le Soleil parcourt une moitié de son orbite dans l'hémisphère céleste boréal, et

l'autre moitié dans l'hémisphère austral. Sa déclinaison, nulle à chaque équinoxe, va d'abord en croissant, atteint une valeur maximum et décroît ensuite jusqu'à l'équinoxe suivant.

Les deux positions, pour lesquelles le Soleil atteint sa plus grande élévation au-dessus du plan de l'équateur, se nomment les *solstices*. En ces jours de l'année, le mouvement du Soleil en déclinaison paraît en effet stationnaire (solstice vient de deux mots latins : *sol*, Soleil, et *stare*, s'arrêter).

Supposons qu'on ait commencé à noter l'ascension droite et la déclinaison du Soleil, le jour où l'astre se trouvait

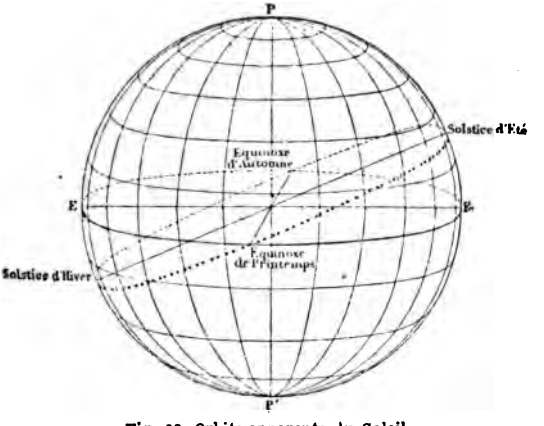


Fig. 38. Orbite apparente du Soleil.

sur l'équateur, c'est-à-dire à l'un des équinoxes, puis, qu'on attende qu'il ait effectué une révolution entière sur l'écliptique de manière à se retrouver encore au même équinoxe. On trouvera que, pendant cet intervalle de temps, le Soleil a passé au méridien 365 fois, et qu'il s'est écoulé en outre un quart de jour environ.

Telle est la durée de l'année *tropique* qui vaut, on le voit, 365 jours solaires et $\frac{1}{4}$, en appelant *jour solaire* le temps qui s'écoule entre deux passages consécutifs du Soleil au même méridien.

Les deux équinoxes et les deux solstices partagent la durée de l'année en quatre saisons : le *printemps*, l'*été*, l'*automne* et l'*hiver*. Le printemps commence au moment où le Soleil passe dans l'hémisphère boréal ; de là, le nom d'équinoxe du printemps donné au point où il se trouve alors sur l'équateur. L'équinoxe d'automne tire sa dénomination du début de la saison qu'il commence, et qui coïncide avec l'époque où le Soleil rentre dans l'hémisphère austral. Par une raison semblable, on nomme solstice d'été et solstice d'hiver, les positions qu'occupe le Soleil, à l'origine de l'été dans l'hémisphère boréal, et, à l'origine de l'hiver dans l'hémisphère austral.

Faisons remarquer qu'ici nous ne parlons de l'année, du jour solaire, des saisons que dans leurs rapports généraux avec le mouvement apparent du Soleil. Bientôt nous donnerons sur ces éléments d'une si grande importance pour la Terre, des notions plus détaillées et plus rigoureuses.

Revenons au mouvement annuel du Soleil. Ce mouvement s'effectue dans un plan contenant à la fois le centre du Soleil et le centre de la Terre ou de la sphère céleste.

Cela suffit pour en conclure que le centre du disque solaire décrit en une année un grand cercle de la sphère. Mais cela ne nous apprend rien sur la forme réelle de l'orbite parcourue, qui pourrait être une courbe quelconque décrite dans le plan de l'écliptique, sans cesser de se projeter pour nous selon un cercle de la sphère idéale sur laquelle tous les astres paraissent situés.

Ce qui nous reste à connaître, ce sont les distances relatives de la Terre au Soleil pendant l'année ; puis les vitesses de l'astre mobile aux différentes époques.

Une première approximation nous fait voir que le Soleil, d'un jour ou d'un midi à l'autre, se déplace d'un peu moins de 1 degré. Il y a, en effet, 365 jours $\frac{1}{4}$ dans l'année et 360 degrés dans un cercle. En d'autres termes, la vitesse angulaire du Soleil, dans son mouvement propre annuel, est à peu près d'un degré par jour solaire.

Mais une étude plus attentive du mouvement propre du Soleil fait voir que sa vitesse apparente sur la courbe qu'il décrit en une année n'est pas uniforme. C'est vers le 1er jan-

vier que cette vitesse atteint sa valeur maximum qui dépasse un degré de 1′ 10″ environ. Du 1er janvier au 1er juillet, la vitesse du Soleil décroît d'une manière continue, et à cette dernière époque elle n'est plus que de 57′ 11″. Alors, pendant tout le reste de l'année elle reprend une valeur croissante, jusqu'à ce qu'elle atteigne de nouveau, au 1er janvier suivant, le maximum dont il vient d'être question.

Ainsi, le mouvement propre du Soleil sur la courbe de l'écliptique est tel, qu'en général, à des temps égaux ne correspondent point des déplacements angulaires égaux, ce qui revient à dire que le mouvement n'est pas uniforme.

Voyons maintenant comment on a pu déterminer la forme réelle de l'orbite. On sait quelle est, pour chaque jour de l'année, la position du centre du Soleil sur le grand cercle de la sphère céleste qu'on nomme l'écliptique. Dès lors on peut, dans le plan de ce grand cercle, tracer une série de lignes droites partant du centre et indiquant par leurs directions les positions successives du Soleil dans le cours d'une année.

Il est clair que, quels que soient les angles formés par cette suite de rayons, si tous avaient la même longueur — ce qui revient à dire, si la distance du centre du Soleil au centre de la Terre était invariable — l'orbite décrite par le Soleil serait un *cercle*. En est-il réellement ainsi ? Non. La distance du Soleil à la Terre varie constamment dans le cours d'une année.

C'est ce dont on a pu s'assurer avant même de connaître la véritable valeur de cette distance. En effet, le Soleil se présentant à nos yeux sous l'apparence d'un disque circulaire de dimensions appréciables, si sa distance change, la grosseur apparente du disque, le diamètre de ce disque variera également. Plus éloigné de la Terre, le diamètre paraîtra diminuer; plus rapproché au contraire, ses dimensions apparentes iront en croissant.

Or, l'observation démontre qu'il en est ainsi. En mesurant avec un instrument spécial, l'*héliomètre*, le diamètre apparent du Soleil pendant le cours entier de son orbite, on a reconnu que ce diamètre sous-tend le plus grand angle vers

l'époque du 1er janvier. A cette époque, la valeur de cet angle est 32'35"6, ou 1955"6. Du 1er janvier au 1er juillet, le diamètre apparent diminue insensiblement, de manière à ne mesurer à cette date que 1891", ou 31' 31". Pendant la seconde moitié de l'orbite solaire, le diamètre du disque repasse par les mêmes valeurs croissantes jusqu'au 1er janvier de l'année qui suit. Au 31 mars et au 1er octobre, les dimensions apparentes du disque sont comprises entre ces dimensions extrêmes, et le diamètre mesure environ 32' 3".

Que résulte-t-il de ces mesures? C'est que la distance du Soleil à la Terre varie pendant tout le cours de l'année. Moindre en hiver qu'en été, c'est vers le 1er janvier qu'elle atteint son minimum, et vers le 1er juillet qu'elle atteint son maximum[1].

De là, les noms de *périgée* et d'*apogée* pour caractériser le point de l'orbite où le Soleil est le plus rapproché, et celui où il se trouve le plus éloigné de la Terre. Comme en réalité c'est la Terre même qui se meut autour du Soleil, il est préférable de dire que la Terre, à ces deux époques, est à son *périhélie* et à son *aphélie*[2].

Puisque le Soleil, dans son mouvement annuel, se trouve à des distances incessamment variables de la Terre, il faut en conclure que son orbite n'est pas circulaire. Quelle est la véritable forme de cette orbite? C'est là une question que nous pouvons résoudre, en nous servant des mesures, effectuées jour par jour, du diamètre apparent du Soleil.

Menons en effet, par un point d'un plan qui représente le plan de l'écliptique, une suite de rayons indiquant les directions dans lesquelles se trouve successivement le Soleil sur son orbite, et portons sur chacun d'eux des longueurs TP, T*a*, T*b*.... TA, proportionnelles aux distances du Soleil à la Terre. En joignant les extrémités de ces rayons par un

1. Comme ces époques sont les mêmes que celles auxquelles correspondent le maximum et le minimum de vitesse, on voit déjà que la vitesse varie en raison inverse de la distance.

2. *Périhélie* et *aphélie* viennent du mot grec ηλιος, *Soleil* et des préposition περι, *près de*, απο, *loin de*. Ces deux derniers mots joints au nom grec de la Terre, γη, ont fourni les mots *périgée* et *apogée*.

trait continu, l'on aura évidemment une courbe semblable à celle que décrit le Soleil dans son orbite annuelle.

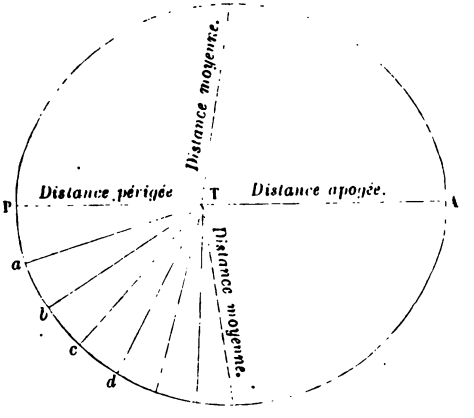


Fig. 39. Forme elliptique de l'orbite apparente du Soleil.

Quant aux distances relatives TP, T*a*.... elles se déduisent très-simplement des valeurs successives du diamètre apparent du Soleil, auxquelles elles sont inversement proportionnelles.

En étudiant la courbe ainsi tracée, on reconnaît que c'est une *ellipse* dont la Terre occupe un des foyers, et dont la somme des distances périgée et apogée, TP et TA, forme le grand axe.

Nous avons vu que le diamètre apparent du Soleil mesure 1955″ 6 au 1er janvier, époque du périgée, et 1891″ 0 au 1er juillet, date de l'apogée. Le rapport des distances TP et TA sera donc donné par la proportion $\frac{TP}{TA} = \frac{1891}{1955.6}$.

En prenant pour unité la moitié du grand axe AP, c'est-à-dire la moyenne distance du Soleil à la Terre, on trouve :

distance périgée = 0.9832
distance apogée = 1.0168
distance moyenne = 1.0000

La distance du foyer d'une ellipse au centre de la courbe, exprimée en parties du demi-grand axe, est un élément important pour fixer la forme de la courbe, ou si l'on veut la différence plus ou moins grande qui existe entre l'ellipse et le cercle : c'est ce qu'on nomme l'*excentricité*.

L'excentricité de l'orbite du Soleil est, d'après les nombres qui précèdent, égale à la fraction 0.0168, qui ne diffère que très-peu de $\frac{1}{60}$. Ainsi l'on peut dire que l'excès de la distance apogée sur la distance moyenne, ou l'excès de la distance moyenne sur la distance périgée est la 60me partie de la distance moyenne. Cela revient encore à dire que la distance apogée surpasse la distance périgée de la 60me partie du grand axe total.

La connaissance de l'ascension droite et de la déclinaison du centre du Soleil a servi à reconnaître la nature de l'orbite parcourue en une année par le Soleil sur la sphère céleste. Mais comme cette orbite est tout entière située dans un plan dont l'inclinaison sur le plan de l'équateur est invariable[1], il a semblé plus simple de rapporter la position du Soleil et tous les points remarquables de son orbite au plan même de l'écliptique, en substituant à l'ascension droite et à la déclinaison des coordonnées analogues, mais comptées sur le cercle de l'écliptique et sur un grand cercle perpendiculaire au plan de l'écliptique.

Soit EE' l'équateur, SS' l'écliptique, et e un point de la sphère céleste (fig. 40). Les deux plans EE' et SS' se coupent suivant une ligne qui passe nécessairement par les deux équinoxes ε et ε'. C'est l'équinoxe du printemps ε qui sert d'origine commune aux deux espèces de coordonnées, comme il est aussi, par une convention que nous avons précédemment mentionnée, l'origine du jour sidéral.

Par le centre T de la sphère céleste, imaginons une ligne perpendiculaire au plan de l'orbite du Soleil. Les deux points p et p' où cette droite perce la sphère sont les pôles de l'écliptique.

1. Cette inclinaison varie, mais dans d'étroites limites que les astronomes savent calculer avec précision.

Cela posé, il est clair que la position d'un point *e* du ciel, d'une étoile par exemple, sera déterminée si l'on connaît, en degrés minutes et secondes : 1° l'arc *em*, mesuré sur un cercle passant par l'étoile et par l'axe ou les pôles de l'écliptique : c'est ce qu'on appelle la *latitude* de l'étoile ; 2° l'arc *εm* compris entre le point équinoxial ε et le cercle sur lequel se mesure la latitude : c'est ce qu'on nomme la *longitude* de l'étoile. La longitude se compte de 0° à 360°, et la latitude, soit boréale, soit australe, de 0° à 90°.

On voit par ces définitions qu'il faut se garder de confondre

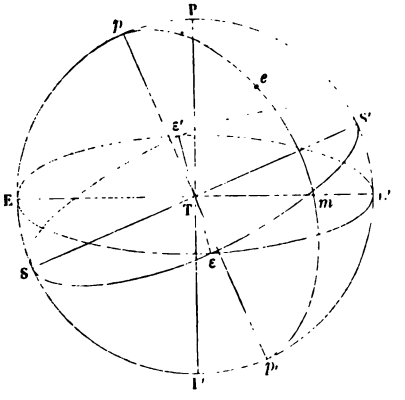


Fig. 40. Coordonnées célestes. — Longitude et latitude.

la longitude et la latitude célestes, avec les coordonnées géographiques de même dénomination. Ces dernières servent à fixer la position d'un point de la surface du globe, rapportée à l'équateur de la Terre et à un méridien conventionnel. La latitude et la longitude célestes fixent la position d'un point du ciel, rapportée au plan de l'écliptique.

Comme le centre du Soleil est toujours dans le plan de l'écliptique — puisque c'est ce centre même qui décrit l'orbite solaire, — il en résulte nécessairement que la latitude du Soleil est toujours nulle

Quant à sa longitude, elle passe par toutes les valeurs possibles, depuis 0°, quand le Soleil est à l'équinoxe du printemps jusqu'à 360°. Alors l'année astronomique est terminée et le Soleil recommence son mouvement en longitude.

En utilisant cette manière nouvelle de fixer la position du Soleil aux divers points de son orbite, nous allons achever d'indiquer les éléments de cette courbe.

La position du grand axe — de la ligne des *apsides*, ainsi que la nomment les astronomes — sera évidemment déterminée si l'on connaît la longitude du périgée. Or les observations montrent que cette longitude est d'environ 280°. Cela revient à dire que la ligne des équinoxes EE' fait avec le grand axe de l'orbite un angle de 80° environ. Quant à la ligne des solstices, comme sa direction est perpendiculaire à celle

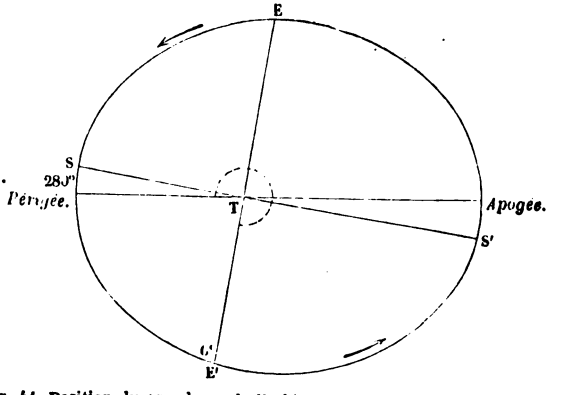


Fig. 41. Position du grand axe de l'orbite solaire. Longitude du périgée.

des équinoxes, il en résulte qu'elle fait avec le grand axe un angle compris entre 9° et 10°.

Nous dirons bientôt comment on calcule l'instant précis de l'équinoxe, et les principaux éléments de l'orbite apparente du Soleil se trouveront ainsi rigoureusement déterminés.

II

MOUVEMENT RÉEL DE TRANSLATION DE LA TERRE AUTOUR DU SOLEIL. — EXPLICATION DES PHÉNOMÈNES DANS L'HYPOTHÈSE DE CE MOUVEMENT.

Le mouvement diurne de la sphère étoilée démontre le mouvement de rotation de la Terre : nous en avons vu plus haut de nombreuses preuves.

Pareillement, le mouvement propre annuel du Soleil manifeste à nos yeux le mouvement réel de translation de la Terre : le premier de ces mouvements est l'apparence dont le second est la réalité.

Les anciens avaient soupçonné cette grande vérité, qui, avec celle de la rotation de la Terre, est la base de l'explication de tous les mouvements planétaires et le fondement de l'astronomie moderne. Les noms de Copernic et de Galilée sont encore ceux qui se présentent à l'historien comme les promoteurs de cette grande réforme scientifique, qui mit enfin la Terre à sa véritable place parmi les astres dont se compose le monde solaire.

Faisons voir d'abord, avant d'énumérer les autres probabilités et les preuves directes de la translation de la Terre, que le mouvement propre du Soleil en vertu duquel cet astre semble se déplacer dans le cours d'une année et parcourir successivement toutes les constellations zodiacales, que l'orbite elliptique dans laquelle il nous a paru se mouvoir avec une vitesse variable, et à des distances variables de la Terre, trouvent leur explication rationnelle dans le mouvement même de notre planète.

Partons du moment où le Soleil est au périgée en S sur son orbite apparente dont la Terre T forme alors le foyer (fig. 42). Prenons le Soleil pour foyer d'une ellipse égale à la première, mais inversement placée. T sera alors au périhélie.

Le Soleil, *en vertu* de son mouvement propre, décrit un

arc SS', et quand l'astre est arrivé en S', nous le voyons, de la Terre supposée immobile, dans la direction TS', de sorte que son centre coïncide maintenant avec de nouvelles étoiles. Telles sont les apparences.

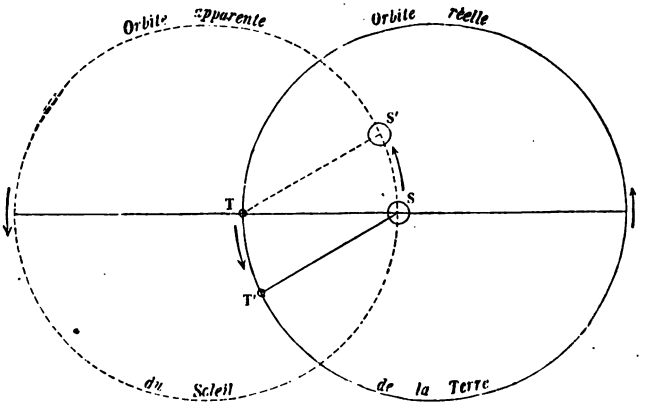


Fig. 42 Orbite apparente du Soleil et orbite reelle de la Terre.

Mais si, au lieu de supposer que le Soleil se meut, c'est à la Terre qu'on attribue le mouvement; le Soleil restant immobile en S, si la Terre décrit en sens inverse l'arc TT' égal à l'arc SS' sur l'ellipse dont le Soleil est le foyer, nous verrons de la Terre T' le centre du Soleil dans la direction T'S, direction rigoureusement parallèle à TS'. Or, quand deux lignes sont parallèles, elles aboutissent sur la sphère céleste, dont le rayon est infini, au même point de la surface de cette sphère. Dans cette hypothèse, le centre du Soleil coïncidera avec les mêmes étoiles que dans la première.

Or, ce que nous venons de dire pour une position particulière du Soleil et de la Terre, s'appliquant évidemment à une autre situation quelconque des deux astres, il en résulte que tous les phénomènes relatifs au mouvement annuel du Soleil s'expliquent avec la même rigueur, en supposant que c'est la Terre elle-même qui est animée de ce mouvement.

On voit de plus que l'orbite apparente et l'orbite réelle sont décrites dans le même sens; car si les arcs SS', TT' semblent décrits en sens contraire l'un de l'autre, c'est que ces deux arcs se tournent leurs concavités. En réalité, si l'un des mouvements a lieu, comme sur la figure, de la droite vers la gauche, c'est aussi de la droite vers la gauche que s'effectue le mouvement dans l'autre ellipse. Le sens de ce mouvement est celui même de la rotation terrestre qui a lieu, comme on sait, d'occident en orient.

Tout ce que nous avons dit du mouvement du Soleil peut donc s'appliquer au mouvement de translation de la Terre autour du Soleil. Cette translation s'effectue dans l'intervalle d'une année ou d'environ 365 jours 1/4, avec une vitesse qui est maximum à l'époque de la plus courte distance des deux astres, c'est-à-dire à l'époque du périhélie, au 1er janvier, et qui va en croissant sans cesse jusqu'à l'aphélie, au 1er juillet, pour décroître en sens inverse dans la seconde moitié de l'orbite.

Quatre positions principales, celles des deux équinoxes et des deux solstices, marquent les moments où le Soleil, vu de la Terre, paraît passer par le plan de l'équateur, ou s'élever ou s'abaisser le plus possible au-dessus et au-dessous de ce plan.

Dans l'hypothèse de l'immobilité de la Terre, le plan de l'équateur restait fixe, et la constance de son inclinaison sur l'écliptique ou sur le plan de l'orbite était une conséquence de l'invariabilité de ce dernier plan.

En supposant que c'est la Terre qui se meut, elle entraîne dans l'espace le plan de son équateur, mais de telle manière que ce plan reste toujours parallèle à lui-même ; l'angle de l'équateur avec l'écliptique reste donc aussi constant.

Comme l'axe de rotation est perpendiculaire à l'équateur, cet axe reste aussi sans cesse parallèle à une même direction, de sorte que les points où il va rencontrer la surface de la sphère infinie des cieux nous semblent immobiles.

Ainsi, tous les phénomènes célestes s'expliquent avec une égale facilité dans l'hypothèse du mouvement du Soleil et dans celle du mouvement de translation de la Terre : mais

nous verrons bientôt les probabilités et les preuves directes qui militent en faveur de ce dernier mouvement.

Ce sont d'abord les analogies que l'étude des planètes a montrées entre ces astres et la Terre, analogies que nous avons déjà énumérées. Puis la facilité et la simplicité avec lesquelles on rend compte des particularités offertes par les mouvements propres des planètes, de leurs stations et de leurs rétrogradations. On verra bientôt, en outre, que les mêmes lois régissent les mouvements des planètes et celui de la Terre et de leurs orbites respectives et que ces lois sont une conséquence d'un même principe, celui de l'attraction prépondérante du Soleil sur les corps célestes, dont il est le foyer commun.

Enfin, un phénomène particulier, celui de l'aberration, nous fournira une preuve directe de la réalité du mouvement de la Terre, tandis qu'il reste sans explication dans l'hypothèse de son immobilité.

Nous pouvons donc dès maintenant considérer la Terre comme animée de deux mouvements simultanés et indépendants :

L'un est le mouvement de rotation qui produit l'apparence du mouvement diurne de la sphère étoilée, et donne lieu au jour sidéral ;

L'autre est le mouvement de translation ou de révolution autour du Soleil qui produit l'apparence du mouvement propre annuel de cet astre, détermine l'année et les saisons, et par sa combinaison avec la rotation diurne, donne lieu aux jours solaires et à toutes les inégalités des jours et des nuits qu'on observe aux diverses latitudes du globe terrestre.

Nous allons étudier maintenant ces derniers phénomènes et montrer comment ils sont une suite nécessaire des deux mouvements de notre planète.

III

ANNÉE TROPIQUE; SA DURÉE EN JOURS SIDÉRAUX. — JOURS VRAIS OU SOLAIRES; DIFFÉRENCE DE DURÉE DU JOUR SOLAIRE ET DU JOUR SIDÉRAL. — HYPOTHÈSE D'UN SOLEIL FICTIF ÉQUATORIAL; JOURS ET TEMPS MOYENS. — LE SOLEIL VRAI ET LE SOLEIL MOYEN NE PASSENT PAS AU MÉRIDIEN AU MÊME INSTANT; ÉQUATION DU TEMPS. — RÉGLAGE DES HORLOGES SUR LE TEMPS MOYEN.

L'année tropique est, comme nous l'avons vu plus haut, l'intervalle de temps qui s'écoule entre deux passages consécutifs du Soleil au même équinoxe, à l'équinoxe du printemps, par exemple. Il est évident qu'il revient au même de dire que l'année tropique comprend tout le temps que met la Terre à parcourir son orbite, d'un équinoxe à l'équinoxe de même dénomination.

Nous avons dit aussi que, pendant la durée d'une année tropique, le Soleil passe 365 fois au méridien, et qu'il s'écoule en outre environ un quart de jour.

Pour connaître avec plus d'exactitude la durée de l'année tropique, il faut savoir calculer avec précision l'instant de l'équinoxe, c'est-à-dire le moment où le centre du Soleil passe par le plan de l'équateur. Il faut déterminer l'instant précis où la déclinaison du Soleil est nulle.

Dans ce but, on observe le Soleil au méridien, le jour qui précède et le jour qui suit l'équinoxe. On mesure, soit au cercle mural, soit à la lunette méridienne, la déclinaison australe SP et la déclinaison boréale S'P' du centre du Soleil pour ces deux jours. Puis, par une interpolation qui suppose que la déclinaison varie dans l'intervalle proportionnellement au temps écoulé, ce qui est vrai approximativement, on calcule l'in-

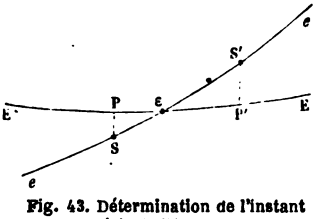


Fig. 43. Détermination de l'instant précis de l'équinoxe.

stant où la déclinaison a dû être nulle, ce qui donne l'heure exacte de l'équinoxe.

Une opération semblable, exécutée l'année suivante, donnera pareillement l'heure exacte du nouvel équinoxe, d'où l'on déduira la longueur de l'année tropique.

On ne peut arriver ainsi qu'à un certain degré d'exactitude, à cause des erreurs inhérentes aux observations. Mais on les atténue presque entièrement en employant les observations faites à de longs intervalles, par exemple à un siècle de distance. On trouve ainsi la durée de cent années avec la même précision que la durée d'une seule, et en divisant par 100, l'erreur se trouve atténuée dans la même proportion.

Voici la valeur de l'année tropique en jours sidéraux :

366^{j}, 242217, c'est-à-dire :
366 jours, 5 heures, 48 minutes, 47 secondes, 555.

La Terre accomplit donc, dans une année tropique, 366 rotations et 1/4 environ, tandis que, nous l'avons vu, le Soleil ne passe au méridien que 365 fois pendant le même temps.

Ce fait trouve son explication toute naturelle dans le mouvement de translation de la Terre, ou, ce qui revient au même, dans le mouvement propre du Soleil.

Considérons en effet la Terre dans les deux positions successives T et T', qu'elle occupe sur son orbite à un intervalle exact d'un jour sidéral ou d'une rotation entière. En T, le Soleil passait à un méridien donné TA, et son centre coïncidait alors avec une certaine étoile.

Au bout d'un jour sidéral, le méridien TA après une rotation entière est venu se placer parallèlement à sa direction primitive, de sorte que la même étoile passe une seconde fois par son plan. Mais il n'en est pas de même du Soleil. En effet, la Terre a décrit l'arc TT' sur son orbite, et la ligne qui joignait son centre au centre du Soleil ne coïncide plus avec le plan du méridien : elle fait maintenant avec ce dernier un angle A'T'A'' précisément égal à celui que mesure l'arc TT'.

Pour que le Soleil passe de nouveau au méridien, il faudra donc que la Terre, après sa rotation complète, tourne encore d'une quantité mesurée par l'angle A'T'A''. Ce nouvel arc de

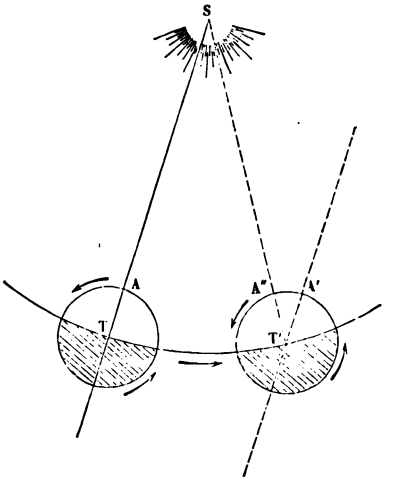


Fig. 44. Différence de durée du jour solaire et du jour sidéral.

rotation décrit, le Soleil se trouvant une seconde fois au méridien, il se sera écoulé un *jour solaire*.

Telle est la raison de l'inégalité que nous avons déjà constatée entre la durée du jour solaire et celle du jour sidéral.

A chacune des rotations successives de la Terre, le retard du passage du Soleil au méridien ira donc en s'accumulant, en se multipliant, et ce retard se mesurera toujours par un angle de même amplitude que celui décrit par la Terre sur son orbite. Dès lors, quand la Terre aura accompli sa révolution annuelle, c'est-à-dire décrit autour du Soleil un arc de 360 degrés ou une circonférence entière, le retard du passage du Soleil au méridien se mesurera par un arc de

rotation de 360 degrés, c'est-à-dire par une rotation entière. En d'autres termes, le Soleil aura passé au méridien une fois de moins que l'étoile avec laquelle il coïncidait à l'origine.

Il doit donc y avoir dans l'année un jour sidéral de plus qu'il n'y a de jours solaires. C'est aussi, nous venons de le voir, ce que l'observation constate.

Nous avons dit que les astronomes emploient le jour sidéral comme unité de temps pour leurs observations : la raison en est dans la parfaite uniformité du mouvement de rotation de la Terre et dans l'égalité absolue des jours sidéraux. Mais ils emploient aussi le jour solaire, et d'ailleurs, pour les usages de la vie civile, il serait fort incommode de se servir du jour sidéral, dont le commencement et la fin tomberaient, dans le cours d'une année, à tous les moments de la journée ou de la nuit.

Mais les jours solaires, définis comme il était naturel de le faire par les intervalles entre les passages successifs au méridien, ont un grave inconvénient : ils sont inégaux en durée. Cette inégalité dans la durée des jours solaires d'une année tient à deux causes :

Premièrement, nous avons vu que le Soleil dans son orbite apparente — ou la Terre dans son orbite réelle — se meut avec une vitesse variable, parcourant en dès temps égaux des arcs d'autant plus grands que la distance des deux astres est plus petite, ou que le Soleil est plus voisin du périgée.

Or, comme nous venons de le voir, c'est de l'amplitude de ces arcs que dépend l'excès du jour solaire sur le jour sidéral. Cet excès est donc variable : de là, la première cause d'inégalité des jours solaires.

Il y a une seconde cause : c'est l'obliquité du plan de l'écliptique sur le plan de l'équateur.

En effet, alors même que le Soleil se mouvrait uniformément dans l'écliptique et parcourrait des arcs égaux εS, $S'S''$ dans le même temps, à des époques différentes de l'année, à l'équinoxe et au solstice par exemple, les arcs εR et $R'R''$ qui mesurent son mouvement en ascension droite, ne seraient

pas égaux. En effet εR est plus petit que l'hypoténuse εS, tandis que R'R'' qui est sensiblement parallèle à S'S'' est au contraire plus grand que S'S'', puisque de ces deux arcs, qui tous deux mesurent l'écartement des deux cercles de déclinaison, l'un est sur l'équateur, l'autre sur un parallèle, c'est-à-dire sur un cercle de plus petit rayon.

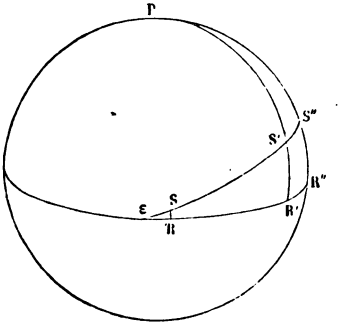


Fig. 45. Inégalité des jours solaires.

Pour remédier à cet inconvénient, les astronomes ont pris pour la durée du jour solaire, non pas l'une ou l'autre des durées inégales qui forment les jours solaires d'une année, mais la moyenne entre toutes ces durées.

Comme l'année tropique vaut 366.242217 jours sidéraux, ils ont divisé ce nombre par 365.242256 qui est le nombre des jours solaires compris dans le même intervalle, et ils ont obtenu la valeur d'un jour solaire moyen en temps sidéral :

1 jour solaire moyen = 1.00273908 ou
= 1 jour 3′ 56″.555 de temps sidéral.

Voilà donc trois sortes de jours :

Le *jour sidéral*, de durée uniforme, et qui mesure le temps d'une rotation de la Terre ;

Le *jour solaire vrai*, de durée variable avec l'époque de l'année, marqué par les passages successifs du Soleil au méridien ;

Le *jour solaire moyen*, qui est une moyenne entre les jours solaires vrais de l'année entière.

Mais il ne suffit pas de connaître la durée exacte de ce jour moyen pour évaluer le temps d'une manière uniforme. Il faut encore convenir de l'origine du jour.

Cela est fait pour le temps sidéral, l'origine du jour sidéral

étant fixée à l'instant où le point équinoxial du printemps passe au méridien du lieu. Il faut faire une convention pareille pour le jour moyen.

Voici celle qu'ont faite les astronomes :

Ils ont supposé un Soleil se mouvant, comme le Soleil vrai, sur l'écliptique, mais avec une vitesse uniforme, de telle façon que les positions de ces deux soleils coïncident, à l'époque du périgée, et par conséquent à celle de l'apogée, c'est-à-dire aux instants où la vitesse du Soleil vrai atteint son maximum et son minimum.

Par là, se trouve déjà éliminée la première cause d'inégalité des jours solaires.

De plus, ils ont encore imaginé un second Soleil fictif, mais se mouvant sur l'équateur d'une manière uniforme et avec la vitesse même dont le premier Soleil fictif est animé sur l'écliptique. Pour fixer sa position, ils les font partir tous deux au même instant, du même équinoxe. Par cette nouvelle hypothèse, la seconde cause d'inégalité des jours solaires est détruite.

C'est à ce second Soleil fictif qu'on donne le nom de Soleil moyen, et ce sont ses passages successifs au méridien d'un lieu qui servent à fixer l'origine des jours moyens successifs.

La connaissance du mouvement propre du Soleil vrai permet à l'aide des hypothèses précédentes de calculer, jour par jour, dans le cours de l'année, la position du Soleil fictif équatorial, et par conséquent l'heure exacte de ses passages au méridien. Tantôt il se trouve en retard sur le Soleil vrai, tantôt il est en avance ; enfin à quatre époques de l'année, le Soleil fictif et le Soleil vrai passent au méridien au même instant.

C'est à l'avance ou au retard de l'un des soleils sur l'autre que les astronomes donnent le nom d'*équation du temps*. L'équation du temps, pour un jour quelconque de l'année, est le temps qui sépare les passages au même méridien du Soleil fictif équatorial et du Soleil vrai.

Quatre fois par an, il y a coïncidence entre les instants de ces passages, c'est-à-dire que l'équation du temps est nulle. Cette coïncidence a lieu le 15 avril, le 15 juin, le 31 août ou

le 1er septembre, le 24 ou le 25 décembre. Pendant les intervalles de ces époques, il y a tantôt avance, tantôt retard du Soleil moyen sur le Soleil vrai. Mais comme on peut le voir par le tableau suivant, où l'on donne les dates des avances et des retards maximum pour le méridien de Paris, l'équation du temps n'atteint jamais 17 minutes.

Dates.	Équation du temps.	Dates.	Équation du temps.
12 février.....	+ 14m 31s	26 juillet.....	+ 6m 13s
15 avril.....	+ 0m 2s	1er septembre.....	— 0m 7s
14 mai.....	— 3m 53s	2 novembre.....	— 16m 18s
15 juin.....	+ 0m 6s	24 décembre.....	— 0m 11s

Grâce à cette fiction d'un Soleil qui se meut uniformément, le jour solaire peut servir à mesurer le temps et à régler les horloges publiques et privées. Les astronomes l'emploient concurremment avec le jour sidéral; mais ils ont grand soin alors de distinguer les heures de chaque système en y ajoutant ces dénominations, *temps sidéral*, *temps moyen*, auxquelles il faut joindre encore la mention de la longitude du lieu où ces heures sont comptées.

Pour les usages civils, le jour commence à minuit moyen : pour les astronomes, c'est à midi qu'est fixée l'origine du jour, et ils comptent les heures depuis 0h 0m 0s jusqu'à 24 h.

Autrefois, les horloges et les montres se réglaient sur le midi vrai, ce qui nécessitait des corrections continuelles dans leurs indications. Une horloge qui eût en effet marché régulièrement se trouvait alors, par le fait des inégalités du mouvement du Soleil, tantôt en avance, tantôt en retard sur les indications des instruments qui marquent le passage du Soleil au méridien. A ces causes d'inexactitudes, il fallait ajouter le peu de précision des instruments.

Depuis 1816, les horloges publiques sont construites de manière à marquer le temps moyen. Pour les régler, on consulte comme autrefois les passages du Soleil vrai au méridien, mais on a soin d'ajouter à midi, ou 12 heures, ou d'en retrancher l'équation du temps, d'après les tables que publient chaque année la *Connaissance des temps* et l'*Annuaire du*

bureau des longitudes. Ce dernier recueil contient, au calendrier, une colonne indiquant le *temps moyen à midi vrai*, c'est-à-dire l'heure que doit marquer l'horloge au moment exact du passage du Soleil au méridien.

Il résulte de là qu'une montre bien réglée dont la marche sur le temps moyen serait parfaitement uniforme, ne doit pas marcher comme le Soleil, excepté aux quatre époques que nous avons mentionnées plus haut.

Il résulte aussi de la différence qui existe entre le temps moyen et le temps vrai, que l'heure de midi ne partage pas ordinairement la journée en deux parties égales. Cette propriété n'appartient qu'au midi vrai; mais l'inégalité des deux portions du jour comprises entre midi moyen et le lever et le coucher du soleil ne sont jamais bien grandes. Ainsi le 3 novembre, cette différence n'atteint que 33 minutes, un peu plus d'une demi-heure : c'est la plus considérable de l'année.

IV

PRÉCESSION DES ÉQUINOXES. — MOUVEMENT PROGRESSIF DES CONSTELLATIONS. — VARIATION DES ASCENSIONS DROITES ET DES DÉCLINAISONS DES ÉTOILES, DUES A LA PRÉCESSION. — MOUVEMENT DE L'ÉQUATEUR OU DE LA LIGNE DES PÔLES AUTOUR DE L'AXE DE L'ÉCLIPTIQUE; DURÉE DE SA RÉVOLUTION. — NUTATION. — DÉPLACEMENT LENT DU GRAND AXE DE L'ORBITE DE LA TERRE

Dans la description que nous venons de faire des deux mouvements simultanés de rotation et de translation de notre globe, nous avons jusqu'ici supposé :

1° Que l'axe de rotation conserve une position fixe dans l'espace, ou, ce qui revient au même, eu égard aux dimensions infinies de la sphère étoilée, qu'il reste parallèle à une direction constante; que dès lors le plan de l'équateur conserve aussi son parallélisme pendant tout le cours de la révolution de la Terre;

2° Que l'orbite terrestre et le plan de l'écliptique sont pa-

reillement invariables, et l'inclinaison de ce dernier sur le plan de l'équateur constante.

Dans cette double hypothèse, il est clair que les points équinoxiaux et solsticiaux devraient conserver une position invariable sur l'orbite et par conséquent correspondre toujours aux mêmes étoiles de la sphère.

En est-il rigoureusement ainsi? Non. Les astronomes ont reconnu que ces divers éléments varient, et que leurs lentes variations produisent à la longue des changements fort appréciables dans les situations relatives du Soleil, de la Terre et des constellations.

L'un des phénomènes les plus importants de ce genre est celui qui est connu, depuis 2000 ans, sous le nom de *précession des équinoxes*. C'est à un célèbre astronome grec, Hipparque, qui observait à Alexandrie, qu'en est due la découverte.

D'après ce que nous avons vu, l'instant de l'équinoxe, de l'équinoxe du printemps par exemple, a lieu quand le centre du Soleil se trouve dans le plan de l'équateur, ce qui

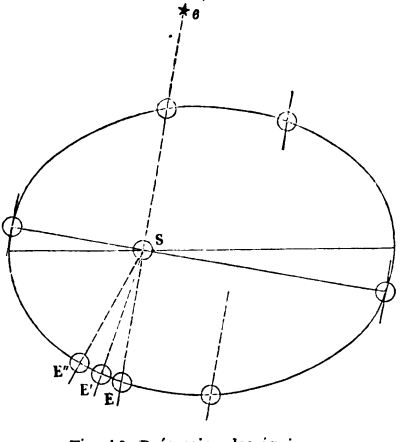


Fig. 46. Précession des équinoxes.

arrive lorsque l'intersection de l'équateur terrestre et de l'écliptique, que la Terre promène dans son mouvement annuel

vient à passer par le Soleil. Si cette intersection restait parallèle à elle-même dans le cours des années successives, il est évident, comme on peut s'en assurer sur la figure 46, qu'au bout d'une année l'équinoxe E aurait lieu au même point de l'orbite; de sorte que si le centre du Soleil coïncidait au premier équinoxe avec une certaine étoile *e* de l'Écliptique, à l'équinoxe suivant, c'est encore la même étoile qui marquerait la position du centre du Soleil sur la sphère céleste.

Or, Hipparque a reconnu le premier qu'il n'en est point ainsi.

Il a constaté que le retour de l'équinoxe avait lieu avant le retour à l'étoile, de sorte que le centre du Soleil, au moment où il coupait l'équateur et déterminait l'équinoxe, avait encore un certain arc à décrire dans son mouvement propre apparent pour se trouver de nouveau en coïncidence avec l'étoile.

Dans l'hypothèse démontrée aujourd'hui réelle du mouvement de la Terre, notre planète, arrivée au point équinoxial E' de son orbite, a encore un arc EE' à décrire pour que le centre du Soleil se retrouve correspondre au même point *e* de la sphère céleste. L'année suivante, même avance de l'équinoxe, et ainsi de suite, de sorte que les points équinoxiaux E', E''... semblent reculer en sens inverse du mouvement de la Terre, ou rétrograder.

Ainsi les équinoxes successifs précèdent de plus en plus les instants des retours du Soleil à la même étoile, ou, ce qui revient au même, les points équinoxiaux rétrogradent. De là, ces deux appellations du même phénomène : *rétrogradation des points équinoxiaux*, ou *précession des équinoxes;* c'est cette dernière qu'on emploie le plus fréquemment aujourd'hui.

Deux retours successifs de la Terre au même équinoxe font l'année *tropique :* on nomme année *sidérale* l'intervalle compris entre deux retours successifs au point d'où le Soleil est vu coïncider avec la même étoile. L'année sidérale est donc plus longue de tout le temps qu'il faut à la Terre pour parcourir l'un des arcs EE' ($0^{j\ moyen}$ 01416). Elle a pour valeur $365^{jm}.256374$, ou $365^{j}\ 6^{h}\ 9^{m}\ 10^{s}$.

Ces arcs EE', E'E'' sont très-petits : chacun d'eux varie

entre 50″1 et 50″2. Hipparque n'aurait pu les mesurer individuellement, surtout à une époque où les instruments d'astronomie n'avaient qu'une précision grossière. Mais l'accumulation de ces rétrogradations successives était devenue sensible à la longue; car d'année en année il dut arriver que, pour une même position du Soleil, pour des époques de l'année identique, les constellations parcourues par le Soleil ou opposées à cet astre, n'étaient plus les mêmes.

En effet, une avance de 50″2 en un an produit une différence de 1° environ en 72 ans, et de un signe tout entier ou de 30° en 2150 années. Voilà pourquoi les constellations qui, du temps d'Hipparque, marquaient sur la zone zodiacale les positions successives du Soleil aux différents mois de l'année, ne sont plus aujourd'hui les mêmes aux mêmes époques. Voilà pourquoi aussi nous avons insisté pour qu'on ne confondît pas les signes du zodiaque, qui marquent les positions du Soleil sur l'écliptique, avec les constellations ou groupes étoilés de même dénomination. Tandis qu'on a conservé aux signes leurs dénominations anciennes, la précession des équinoxes a fait avancer les constellations dans le sens du mouvement de la Terre sur son orbite.

Une fois le phénomène de la précession constaté et mesuré, on a dû en chercher la raison.

Pour savoir à quel mouvement attribuer ce changement progressif, on a étudié les effets qu'il produit dans l'aspect du ciel. On a d'abord reconnu que l'axe de rotation de la Terre et le plan de son équateur ont sur le globe même une position fixe. Les longitudes et latitudes géographiques sont restées invariables.

Les étoiles ont conservé, sauf les mouvements propres très-lents dont un certain nombre sont affectées, les mêmes positions relatives. Mais il n'en est pas de même de leurs coordonnées célestes, c'est-à-dire de leurs positions rapportées au plan de l'équateur ou au plan de l'écliptique. En étudiant sous ce rapport les variations de position des étoiles, on a reconnu :

Que les ascensions droites et les déclinaisons subissent des variations continues;

Que les latitudes sont invariables, tandis que les longitudes augmentent sans cesse d'une quantité qui est précisément égale chaque année à la précession des équinoxes.

L'invariabilité des latitudes célestes prouve que le plan de l'écliptique reste lui-même invariable. Quant aux variations des longitudes célestes, elles proviennent évidemment du mouvement du point équinoxial, qui est l'origine commune de ces coordonnées.

Il n'y a donc qu'une hypothèse possible, celle d'un mouvement lent du plan de l'équateur. Ce plan, au lieu de rester parallèle à lui-même tourne, d'une manière continue, de telle façon que son intersection avec l'écliptique décrit en une année un angle de 50″2 C'est ce que démontre clairement la figure 46.

Mais le mouvement de l'équateur ne peut avoir lieu sans que l'axe de rotation qui lui est perpendiculaire tourne avec lui, et sans que les pôles célestes se déplacent d'année en année de la même quantité angulaire. Comme, d'ailleurs, l'inclinaison de l'équateur sur le plan de l'écliptique reste à peu près constante, on en conclut :

Que l'équateur décrit progressivement dans l'espace une surface conique, ou ce qui revient au même que l'axe de la Terre décrit autour de l'axe de l'écliptique un cône de révolution, à raison de 50″ 2 par année, de 1 degré environ par 72 ans, et effectue dès lors sa révolution entière en 26 000 ans environ (25 816 ans)[1].

Ainsi les pôles célestes que nous avions d'abord considérés comme fixes, changent peu à peu, et dès lors ne correspondent plus aux mêmes étoiles. Aujourd'hui le pôle boréal se rapproche insensiblement de l'étoile polaire qui en est éloignée de 1° 1/2; en l'an 2120, la distance ne sera plus que de 30′. Passé cette époque, le pôle boréal s'éloignera de la Polaire; au bout d'une période de 12 000 ans environ, l'étoile brillante la plus voisine du pôle sera l'étoile Wega de la Lyre qui jouera alors le rôle de l'étoile polaire actuelle.

1. Quelques auteurs donnent à la précession une valeur de 50″.3, ce qui fait 25 765 ans pour la révolution totale des équinoxes.

Quant à la cause physique de la précession des équinoxes, elle provient de l'influence de l'attraction de la masse du Soleil sur le bourrelet ou renflement équatorial de notre globe.

La masse de la Lune agit aussi sur la même portion de la masse terrestre, et donne lieu à un mouvement de l'axe dont la période est de 18 ans 2/3; c'est ce qu'on nomme la *nutation*. La précession des équinoxes laisse l'inclinaison de l'équateur sur l'écliptique constante, tandis que la nutation augmente et diminue alternativement cette obliquité. Indépendamment d'ailleurs de cette variation, les observations anciennes et modernes comparées prouvent que l'obliquité varie lentement d'un siècle à l'autre.

Enfin, il est une autre variation que nous devons signaler, c'est celle du déplacement lent du grand axe de l'orbite

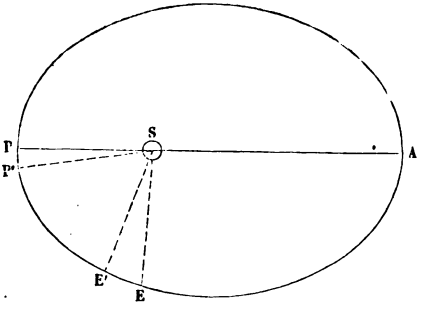


Fig. 47. Déplacement progressif du grand axe de l'orbite terrestre.

terrestre. On a reconnu que la longitude du périgée, que mesure l'arc EAP compris sur l'écliptique entre l'équinoxe du printemps E et le point P où se trouve la Terre à sa plus petite distance du Soleil, va en augmentant progressivement. En 1690, cette longitude n'était que de 277° 35′ 31″. En 1775, elle était devenue égale à 279° 3′ 17″; et à l'époque actuelle, 1867, elle est de 280° 38′ 40″. C'est un accroissement d'un peu plus de 61″ par année.

Mais cette augmentation de longitude tient en partie à la rétrogradation de l'équinoxe qui de la position E va en E' à une distance angulaire de 50″ 2. L'autre partie de l'accroissement tient à un déplacement particulier du grand axe ou du périgée P qui vient se placer en P'. En résumé, il y a un rapprochement constant du périgée solaire ou du périhélie terrestre et de l'équinoxe du printemps, et l'on peut calculer l'époque à laquelle ces deux points viendront à coïncider.

Comme les équinoxes et les solstices déterminent les commencements des saisons, et que le grand axe de l'orbite partage cette courbe en deux parties égales que la Terre parcourt, comme nous le verrons plus loin, en des intervalles de temps égaux, cette position particulière du périhélie amènera l'égalité entre les durées réunies du printemps et de l'été, et celles de l'automne et de l'hiver; de plus, le printemps aura la même durée que l'hiver, et l'automne sera égal à l'été. Mais ce n'est guère que dans 47 siècles que ces phénomènes particuliers se présenteront pour la Terre.

V

LES JOURS ET LES NUITS A LA SURFACE DE LA TERRE. — VARIATIONS DANS LA DURÉE DES JOURNÉES ET DES NUITS EN UN MÊME LIEU, SELON L'ÉPOQUE DE L'ANNÉE. — VARIATIONS SELON LES LATITUDES. — LIEUX DE LA TERRE OU LE SOLEIL PASSE AU ZÉNITH A MIDI. — JOURS ET NUITS DES PÔLES.

Tout le monde sait par expérience qu'il y a, dans le cours d'une année, une grande inégalité dans la longueur relative des jours et des nuits. Dans notre hémisphère boréal, nous voyons le jour surpasser la nuit en durée pendant les saisons estivales, le printemps et l'été; tandis que les nuits sont plus longues que les jours pendant les saisons hivernales, ou en automne et en hiver.

Quelle loi régit ces variations? Sont elles les mêmes pour tous les points de la surface du globe, ou changent-elles

d'une latitude à l'autre? Enfin quel rapport existe-t-il entre ces phénomènes qui sont pour nous d'un si grand intérêt, et les mouvements de la Terre? Telles sont les questions que nous devons maintenant passer en revue.

Distinguons d'abord ce qu'on nomme vulgairement le *jour* par opposition à la *nuit*, de la période soit sidérale, soit solaire à laquelle les astronomes donnent le même nom. Le *jour sidéral* s'entend de la durée uniforme de la rotation terrestre; le *jour solaire*, de l'intervalle, légèrement variable dans le cours de l'année, qui sépare deux passages consécutifs du Soleil au méridien.

Le jour ou mieux la *journée* — pour éviter toute équivoque — est l'intervalle de temps compris, en un lieu et à une époque donnée, entre le lever et le coucher du Soleil, le temps que l'astre passe au-dessus de l'horizon du lieu.

Tandis que le jour solaire a une durée à peu près uniforme de 24 heures, la journée et la nuit peuvent varier, suivant les époques et les latitudes, entre zéro et six mois.

Nous avons vu que la Terre est partagée en cinq zones par les cercles polaires et les tropiques : la zone torride et les zones tempérées; les zones glaciales ou polaires. Au point de vue de la durée relative des jours et des nuits, on peut distinguer les zones terrestres de la façon suivante :

La zone torride et les deux zones tempérées comprennent tous les lieux de la Terre où la durée de la journée et de la nuit, prises ensemble, donnent toujours un total égal à la durée du jour solaire ;

Les zones glaciales comprennent les régions pour lesquelles les durées réunies de la journée et de la nuit dépassent la durée du jour solaire et atteignent jusqu'à la durée de l'année entière.

Considérons d'abord la Terre au début de l'année astronomique, c'est-à-dire à l'un ou à l'autre des deux équinoxes.

A ce moment, le Soleil est dans le plan de l'équateur. L'hémisphère éclairé que la Terre lui présente et l'hémisphère opposé ou obscur sont séparés l'un de l'autre par un grand cercle qui passe précisément par les deux pôles et contient l'axe de *rotation (fig. 48)*. Ce cercle de séparation de la

diurne *aMb* par exemple sera plus grand que l'arc nocturne *aM'b*. La journée sera donc plus grande que la nuit, et la différence de leurs durées sera d'autant plus considérable que le cercle d'illumination passera à une distance plus grande du pôle boréal.

Ainsi les journées plus longues que les nuits iront en croissant sans cesse jusqu'à l'époque du solstice d'été, parce que c'est à ce moment que le cercle de séparation de la lumière et de l'ombre atteindra les régions les plus éloignées du pôle (fig. 50).

Entre le solstice d'été et l'équinoxe d'automne, la Terre occupera, relativement au Soleil, une série de positions identiques à celles que nous venons d'examiner, mais en ordre inverse. Les journées toujours plus longues que les nuits iront en diminuant jusqu'au moment du nouvel équinoxe, où il y aura de nouveau égalité entre ces deux durées.

Alors ce sera le pôle austral que la Terre présentera de plus en plus au Soleil, ce sera l'arc diurne qui sera plus petit que l'arc nocturne. Les nuits, plus longues que les journées iront donc en croissant sans cesse, et atteindront leur plus grande durée au solstice d'hiver, pour décroître ensuite en sens inverse, jusqu'à l'équinoxe du printemps.

Les variations que nous venons d'étudier ont lieu de cette manière sur tous les points de la Terre compris entre les cercles polaires, c'est-à-dire appartenant à la zone torride ou aux zones tempérées. Mais les inégalités varient avec la latitude, et sont d'autant plus sensibles que la latitude est plus grande, en d'autres termes, qu'on s'éloigne davantage de l'équateur.

Ces inégalités s'expliquent d'ailleurs par les variations de la hauteur méridienne du Soleil sur un horizon donné. L'amplitude de l'arc diurne que la rotation terrestre fait parcourir au Soleil au-dessus de l'horizon dépend en effet de cette hauteur. Au solstice d'été, vers le 20 juin, la hauteur méridienne du Soleil est maximum pour l'horizon d'un lieu situé dans l'hémisphère boréal : c'est aussi l'époque du plus long jour, ou mieux, pour rester fidèle à notre convention, de la plus longue journée, et par conséquent de la plus courte nuit.

Entre le solstice d'été et chacun des équinoxes, la hauteur méridienne du Soleil est croissante pendant la saison du printemps, décroissante pendant l'été : les journées croissent pour décroître ensuite.

Enfin, au solstice d'hiver, vers le 21 décembre, la hauteur du Soleil sur l'horizon est la plus petite possible : c'est l'époque de la plus longue nuit et de la journée la plus courte.

Si au lieu de considérer un point de l'hémisphère boréal de la Terre, il s'agissait d'un horizon de l'hémisphère austral, les phénomènes se suivraient de la même manière, mais à des époques de l'année qui correspondent à des positions diamétralement opposées de la Terre sur son orbite. La plus longue journée est celle du solstice d'hiver, la plus courte a lieu le jour du solstice d'été.

Maintenant considérons quelques points particuliers de la Terre.

A l'équateur, pendant toute l'année, la durée de la journée et celle de la nuit sont égales, de douze heures chacune. C'est que le grand cercle de l'équateur est toujours divisé en deux parties égales par le cercle qui sépare l'hémisphère éclairé de l'hémisphère obscur : l'arc diurne et l'arc nocturne sont de même amplitude, quelle que soit d'ailleurs la hauteur méridienne du Soleil. A l'époque des équinoxes, le Soleil décrit, pour l'horizon d'un point de l'équateur, le grand cercle vertical qui passe par les points Est et Ouest. A midi il passe donc par le zénith.

Ce dernier phénomène est commun à toutes les régions de la Terre situées entre l'équateur et les deux tropiques, jusqu'à la latitude de 23° 27′ environ. En effet, l'axe de rotation est incliné de 23° 27′ sur le plan de l'écliptique. Lorsque par le mouvement de translation de la Terre autour du Soleil, notre globe arrive à l'un ou à l'autre des solstices, le rayon qui joint les centres des deux astres, passe précisément par un point de l'un des tropiques et coïncide avec la verticale du lieu.

Ainsi le jour du solstice d'été, le Soleil passe, à midi, au zénith de tous les lieux situés sur le tropique du Cancer, et,

le jour du solstice d'hiver, au zénith de tous les points du tropique du Capricorne.

Entre l'équateur et les tropiques, c'est-à-dire dans toute la zone torride, la même circonstance se présente deux fois par année, parce qu'alors la hauteur méridienne du Soleil atteint et dépasse 90°. Il en résulte que, entre ces deux époques et l'un des solstices, le Soleil est à midi au delà de la verticale du côté du nord, et pendant le reste de l'année en deçà de la verticale du côté du midi. Les habitants de la zone torride voient donc leur ombre méridienne tantôt projetée vers le pôle, tantôt projetée du côté de l'équateur, c'est-à-dire au nord ou au midi de leur horizon.

Transportons-nous maintenant à l'un des cercles polaires, c'est-à-dire à une latitude qui n'est éloignée du pôle que de 23° 27'.

Depuis l'équinoxe jusqu'au solstice, la journée va croissant sans cesse pour ce parallèle comme pour tous les autres lieux de la Terre; mais au solstice même, la lumière du Soleil atteint le parallèle tout entier, de sorte que ce jour là, l'astre reste au-dessus de l'horizon pendant 24 heures. L'inverse a lieu pour le cercle polaire de l'autre hémisphère, dont la nuit dure 24 heures le jour du solstice.

Au-delà des cercles polaires, dans les lieux qui forment les zones glaciales, les journées et les nuits ont des durées de plus en plus inégales. A partir de l'équinoxe du printemps par exemple, le pôle boréal de la Terre voit le Soleil se lever sur son horizon, faire chaque vingt-quatre heures un tour entier sans se coucher, et, s'élevant sans cesse atteindre au bout de trois mois sa plus grande hauteur à l'époque du solstice d'été. A partir du solstice, il décrit en sens inverse cette espèce de spirale, pour se coucher trois mois plus tard, ayant ainsi fourni une journée de six mois entiers à ces régions glacées. Pendant ce long intervalle de temps, le pôle austral était plongé dans la nuit qui commence alors pour le pôle nord.

Terminons cette étude des variations que présentent les durées relatives des journées et des nuits, en donnant un tableau des durées du jour le plus long et du jour le plus

court pour un certain nombre de latitudes comprises entre les cercles polaires :

Latitudes.	Durée de la journée la plus longue ou de la plus longue nuit.	Durée de la journée la plus courte ou de la plus courte nuit.
Equateur 0°.....	12h 0m	12h 0m
15°.....	12 53	11 7
Tropiques 23° 27'.....	13 27	10 33
30°.....	13 56	10 4
45°.....	15 26	8 34
60°.....	18 30	5 30
Cercles polaires 66° 33'.	24 0	0 0

A la latitude de Paris (48° 50'), la durée du plus long jour est de 16 heures 7 minutes ; c'est aussi celle de la plus longue nuit. La plus courte nuit et la journée la moins longue durent 7 heures 53 minutes.

VI

LES SAISONS. — INÉGALES DURÉES DES SAISONS ; CAUSES DE CETTE INÉGALITÉ. — LES SAISONS CONSIDÉRÉES AU POINT DE VUE DE LA TEMPÉRATURE. — VARIATIONS DE L'INTENSITÉ DE LA CHALEUR SOLAIRE. — VARIATION DANS LA TEMPÉRATURE AUX DIVERSES ÉPOQUES DE L'ANNÉE ; SES CAUSES. — POURQUOI LES TEMPÉRATURES EXTRÊMES NE COÏNCIDENT PAS AVEC LES SOLSTICES. — TEMPÉRATURES MOYENNES DES DEUX HEMISPHÈRES TERRESTRES. — BRISES DE TERRE ET DE MER. — LES VENTS ALIZÉS ET LES MOUSSONS.

L'année se divise, comme on sait, en quatre saisons séparées les unes des autres par les deux équinoxes et les deux solstices :

Le *printemps* commence à l'instant où la Terre passe au point équinoxial du printemps, ou, ce qui revient au même, au moment où le Soleil traverse l'équateur et passe de l'hémisphère austral dans l'hémisphère boréal du ciel. C'est ordinairement entre le 20 et le 22 mars qu'a lieu ce passage ;

La fin de la saison du printemps et le début de la saison

d'*été* coïncide avec l'époque du solstice suivant qui a lieu d'ordinaire vers le 20 juin;

L'été finit et l'*automne* commence au moment où a lieu le second équinoxe, c'est-à-dire quand le Soleil traverse l'équateur pour repasser dans l'hémisphère austral, vers le 22 ou 23 septembre;

Enfin, à l'époque du second solstice, c'est à-dire vers le 21 décembre commence la saison d'*hiver* qui se termine, avec l'année astronomique, à l'équinoxe du printemps.

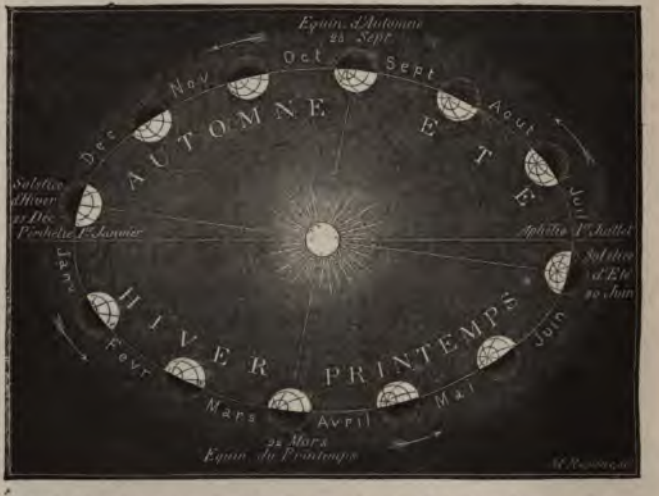


Fig. 51. Orbite annuelle de la Terre autour du Soleil. — Les saisons.

* *

L'équinoxe et les solstices partagent, nous l'avons vu, l'orbite de la Terre en quatre parties inégales. Par ce seul fait les saisons n'auraient pas la même durée; mais leur inégalité est rendue plus grande encore par cette circonstance que la Terre se meut d'autant plus vite sur son orbite qu'elle est plus rapprochée du Soleil, ce qui arrive précisément quand elle parcourt les deux arcs les plus petits, ceux d'automne et d'hiver.

Voici, pour l'année 1866, les époques précises des équinoxes et des solstices, c'est-à-dire des commencements des quatre saisons, et les durées correspondantes de ces périodes :

L'équinoxe du Printemps a eu lieu le 20 mars..... à 8^h 4^m du soir, temps moyen de Paris;
Le solstice d'Été..... le 21 juin..... à 4 43 du soir;
L'équinoxe d'Automne..... le 23 septembre à 6 59 du matin;
Le solstice d'Hiver..... le 22 décembre. à 0 59 du matin;

La durée du Printemps a donc été de.....	92 jours	20 heures	39 m.
Celle de l'Été.....	93	14	16
Celle de l'Automne.....	89	18	10
Et celle de l'Hiver (1865-1866) [1].....	89	1	15

On voit, par les nombres qui précèdent, que le Soleil a séjourné dans l'hémisphère boréal pendant $186^j10^h55^m$, et dans l'hémisphère austral seulement pendant $178^j19^h25^m$, ce qui fait une différence de $7^j15^h30^m$ en faveur des saisons estivales.

Les saisons ne sont pas seulement les divisions naturelles de l'année astronomique : on les considère aussi, et même le plus souvent, comme des périodes ayant des caractères distinctifs au point de vue de la température des diverses régions de la Terre.

Pour l'hémisphère boréal, l'hiver est regardé comme la saison des froids, l'été comme celle des chaleurs, l'automne et le printemps formant des périodes intermédiaires ou moyennes. Il faut remarquer d'abord que l'inverse a lieu pour l'hémisphère austral, en tant du moins que les températures dépendent de l'action exclusive et directe des rayons solaires. En ces régions de la Terre, c'est le printemps et l'été qui sont les saisons du froid, l'automne et l'hiver les saisons des grandes chaleurs. On se rendra aisément compte de l'opposition des saisons dans les deux hémisphères en étudiant les causes astronomiques des variations de la température.

1. Le solstice d'Hiver précédent ou de 1865 a eu lieu le 21 décembre à 6 heures 59 m. du soir.

Si l'on considére le globe terrestre dans sa totalité, la quantité de chaleur qu'il reçoit du Soleil ne dépend que de la distance des deux astres, et varie par conséquent avec elle. C'est donc au périhélie que cette chaleur reçue atteint son maximum, à l'aphélie qu'elle est la moindre possible; et si l'on calcule dans quel rapport varient les intensités, suivant la loi physique de la proportion inverse du carré des distances, on trouve les nombres 1072 et 940 pour représenter les intensités respectives de la chaleur reçue par la Terre au 1er janvier et au 1er juillet.

Entre ces deux époques, la même quantité passe par toutes les valeurs comprises entre ces deux nombres, à mesure que changent les distances du Soleil à la Terre. Comme le grand axe de l'orbite partage la courbe en deux parties égales parcourues dans le même temps par la Terre, il en résulte déjà que notre globe reçoit du Soleil des quantités de chaleur égales pendant chacune de ces moitiés de l'année.

D'autre part, l'observation prouve que la température moyenne de la Terre est à peu près constante, qu'elle n'a pas varié d'une manière sensible depuis des milliers d'années. Il faut en conclure que notre globe perd chaque année, en la rayonnant dans l'espace, toute la chaleur qu'il reçoit du Soleil.

Les variations de distance ne suffiraient donc pas pour expliquer les grandes variations que subit la température d'un lieu donné aux diverses époques de l'année, ni la distribution fort inégale du même élément aux différentes latitudes.

Deux causes principales déterminent l'intensité de la chaleur que le Soleil rayonne vers un point donné de la surface du globe, et d'où résulte la température moyenne d'un jour à une époque donnée. Ce sont, en premier lieu, la hauteur méridienne à laquelle le Soleil s'élève au-dessus de l'horizon; en second lieu, la durée de la journée ou du temps que l'astre met à parcourir son arc diurne.

On démontre en physique que si une surface se trouve en présence d'une source de chaleur, l'intensité de la chaleur incidente est d'autant plus considérable que la surface se présente *moins obliquement* aux rayons calorifiques. Ainsi, au

moment où le Soleil se lève, le sol reçoit son minimum de chaleur, et il s'échauffe de plus en plus à mesure que le mouvement diurne, en élevant le disque de l'astre, diminue l'obliquité de ses rayons. A midi, la chaleur reçue atteint son

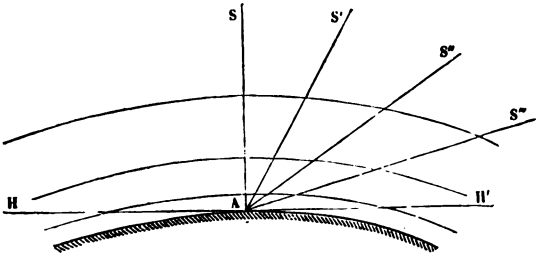


Fig. 52. Inégalité d'épaisseur des couches atmosphériques traversées par les rayons du Soleil, suivant sa hauteur.

maximum, pour décroître ensuite, jusqu'à l'heure du coucher. En comparant, sous le rapport de l'obliquité des rayons solaires, deux jours pris à des époques différentes de l'année, on voit que la quantité de chaleur reçue en un lieu donné, en chacun de ces jours, dépend de la hauteur à laquelle le Soleil parvient à midi. Or, cette hauteur varie avec les saisons; elle est de plus en plus grande de l'équinoxe du printemps jusqu'au solstice d'été, diminue ensuite jusqu'à l'équinoxe d'automne; puis elle s'abaisse encore jusqu'au solstice d'hiver où elle est la plus petite possible. Enfin elle repasse, pendant l'hiver, par les valeurs qu'elle a eues en automne, jusqu'à l'équinoxe du printemps.

Il faut remarquer, en outre, que la chaleur du Soleil, avant d'arriver au sol, doit traverser toute l'épaisseur de l'atmosphère. Dans ce trajet, une partie est absorbée par les couches gazeuses et en proportion d'autant plus grande qu'elles sont plus épaisses. Or, la figure 52 montre avec évidence, que plus le Soleil est élevé au-dessus de l'horizon, moins l'épaisseur des couches traversées est considérable. Voilà donc une cause qui s'ajoute à la première, pour augmenter la température en raison de la hauteur méridienne du Soleil.

Enfin, la température d'un jour dépend aussi du temps pendant lequel les rayons solaires exercent leur action sur l'atmosphère et sur le sol. En un mot, elle dépend de la longueur de la journée. Or, cette longueur est elle-même, en un lieu donné, d'autant plus grande que le Soleil a une plus grande hauteur méridienne; de sorte que cette troisième cause concourt avec les deux premières pour rendre plus chaudes les saisons de printemps et d'été, plus froides celles d'automne et d'hiver.

Mais il ne faut pas oublier que c'est l'inverse qui a lieu pour l'hémisphère austral de la Terre, puisque, pour deux latitudes égales et opposées, les hauteurs méridiennes du Soleil varient en sens inverse, ainsi que les durées relatives des journées et des nuits. L'automne et l'hiver, répétons-le, y sont les saisons les plus chaudes, le printemps et l'été les plus froides.

Tout ce que nous venons de dire pour expliquer les variations de la température en un lieu donné, sert aussi à faire comprendre l'inégalité de distribution de la chaleur suivant les latitudes.

La zone torride, comprise entre l'équateur et les deux tropiques, renferme les régions dont la température moyenne annuelle est la plus élevée, et où en même temps les saisons offrent un contraste moins frappant. Le Soleil y conserve en effet toute l'année les hauteurs les plus grandes au-dessus de l'horizon. C'est là seulement, nous l'avons vu, qu'il atteint le zénith et que ses rayons dardent verticalement sur le sol. Sa hauteur méridienne minimum varie entre 66° et 43° et ne tombe jamais au-dessous de cette dernière valeur.

Dans la zone tempérée, il y a un écart plus considérable entre les températures des saisons extrêmes. Le Soleil, vers le solstice d'hiver, a une faible hauteur méridienne, tandis qu'au solstice d'été, il s'élève à des hauteurs notablement voisines du zénith. Mais ce qui distingue particulièrement cette zone de la zone torride, c'est que la durée des jours, pendant les saisons hivernales, est beaucoup plus petite que celle des journées des saisons estivales.

Les zones glaciales enfin sont les moins bien partagées de toutes au point de vue de la température. Elles ne se pré-

sentent que très-obliquement aux rayons du Soleil, pendant les longues journées du printemps et de l'été, et l'absence de l'astre pendant leurs longues nuits d'automne et d'hiver, y accumule les neiges et les glaces, rendant ces contrées pour ainsi dire inhabitables.

Le printemps et l'été sont deux saisons qu'on croirait au premier abord devoir être identiques, puisque le Soleil, en un lieu donné, y passe par les mêmes hauteurs méridiennes, et que les journées y ont des durées successivement égales. La même remarque s'applique à l'automne et à l'hiver. Cependant l'observation prouve que la température moyenne de l'été surpasse celle du printemps, et que c'est pendant l'été et non au solstice qu'ont lieu les plus grandes chaleurs. L'hiver est aussi plus froid que l'automne, et les plus grands froids ne coïncident pas d'ordinaire avec l'époque du solstice.

Ces inégalités s'expliquent aisément. Considérons un point de l'hémisphère boréal. Au début du printemps, le sol et l'atmosphère, longtemps refroidis par la saison précédente, s'échauffent avec lenteur; l'action des rayons solaires pendant la journée contre-balançant seulement la perte de chaleur que produit le rayonnement pendant la nuit. Peu à peu cependant, la température s'accroît jusqu'au solstice. Alors, grâce à la longueur des journées, l'échauffement journalier continue à l'emporter sur le rayonnement nocturne, et c'est vers le milieu de juillet que la température atteint son maximum.

Mais alors en vertu même de cet excès de chaleur, l'intensité du rayonnement est plus forte, et comme les nuits croissent en longueur, la température commence à diminuer. A partir de l'équinoxe d'automne, l'équilibre se fait de nouveau, mais à cause de l'accumulation de la chaleur pendant les deux saisons estivales, la température reste supérieure à ce qu'elle était dans les jours qui précèdent l'équinoxe du printemps.

L'inverse a lieu en hiver. L'hémisphère boréal se refroidit de plus en plus : il perd plus par le rayonnement, qu'il ne reçoit de chaleur solaire, et comme ce phénomène se prolonge après le solstice d'hiver, il en résulte que les froids les plus intenses n'ont guère lieu que vers le milieu de janvier.

Telle est aussi la raison qui fait que la température maximum de la journée a lieu après midi, environ vers deux heures, et que la température la plus basse s'observe après minuit.

Nous avons dit que l'automne et l'hiver de l'hémisphère boréal, c'est-à-dire les saisons les plus froides, correspondent aux plus faibles distances du Soleil à la Terre, le printemps et l'été, à son plus grand éloignement. L'inverse ayant lieu pour l'hémisphère austral, il devrait en résulter que ses chaleurs sont plus intenses et ses froids plus rigoureux. Mais il faut remarquer que la plus longue durée des deux dernières saisons comparée à celle des deux autres compense cette cause d'inégalité, et il en résulte seulement une différence dans la distribution de la chaleur aux diverses époques de l'année.

Cependant, à égalité de latitude, la température moyenne de l'hémisphère austral est inférieure à celle de l'hémisphère boréal. Les observations météorologiques témoignent de l'exactitude de ce fait, que confirme d'ailleurs l'inégale étendue des mers glacées autour des deux pôles. Tandis que les glaces qui environnent le pôle nord s'étendent seulement jusqu'au 81e parallèle, on rencontre les mers glacées dans la zone australe dès le 71e degré de latitude.

Mais les causes de ces différences ne sont pas astronomiques : c'est à l'inégale répartition des terres et des eaux sur les deux hémisphères qu'il faut les attribuer. L'hémisphère boréal contient la plus grande partie des continents, tandis que l'Océan recouvre les trois quarts au moins de l'hémisphère austral. L'un et l'autre reçoivent, il est vrai, en une année la même quantité de chaleur solaire; mais la surface liquide se refroidit avec plus de rapidité que le sol, parce qu'à mesure qu'une couche superficielle se refroidit, sa densité la fait remplacer par une couche inférieure, qui se refroidit de nouveau. La mer perd donc plus par le rayonnement nocturne que la Terre, ce qui explique la différence que nous venons de signaler entre les températures moyennes de l'hémisphère solide et de l'hémisphère liquide.

C'est de l'inégal échauffement et de l'inégal refroidissement des parties continentales et des parties maritimes, que nais-

sent les brises de terre et les brises de mer qu'on observe le long et à une certaine distance des côtes. « Ces brises montrent avec évidence que le rayonnement du sol est plus considérable que celui de l'eau et de l'air. Pendant les chaudes journées, il s'élève sur les côtes une brise venant de la mer, qui alterne avec une brise de terre soufflant la nuit vers le large. On explique de la manière suivante l'alternance de ces brises régulières, pendant la saison d'été. L'air, échauffé par son contact avec le sol, se dilate et s'élève, faisant place à l'air plus frais de la mer, à la brise bienfaisante qui vient rétablir l'équilibre. Pendant la nuit, la Terre rayonne plus librement, se refroidit et abaisse la température de l'air qui est en contact avec elle. Devenu plus dense, cet air s'étend vers le large où il déplace un air moins froid, et nous donne ainsi la brise de terre. » (*Géographie physique* de Maury.)

La distribution des températures aux différentes époques de l'année et dans les diverses régions de la Terre, suit une loi très-complexe et dépendant d'un grand nombre d'éléments. L'altitude du lieu au-dessus du niveau de la mer, la proximité des chaînes de montagnes, des rivières et des forêts, la nature du sol, le voisinage plus ou moins rapproché des côtes, les courants aériens et maritimes contribuent à déterminer sa température moyenne et ses températures extrêmes.

De toutes ces causes de changement, il en est qui sont liées aux mouvements de la Terre, et ce sont celles qui produisent les phénomènes des moussons et des vents alizés, dont nous allons dire un mot en terminant ce chapitre.

Nous avons vu que les régions voisines de l'équateur se présentent au Soleil sous une incidence moins oblique que les autres régions de la Terre : de là résulte pour le sol comme pour les couches atmosphériques une température constamment plus élevée que celle des régions dont la latitude, australe ou boréale, est plus grande. Les couches échauffées de l'atmosphère s'y élèvent et sont remplacées par des couches plus froides, provenant de ces dernières régions. Il en *résulterait deux* courants inférieurs, affluant du sud ou

du nord vers l'équateur, si la Terre n'avait pas d'ailleurs un mouvement de rotation.

Mais la vitesse de ce mouvement, qui entraîne l'atmosphère

Fig. 53. Zones des vents alizés et des calmes équatoriaux.

comme le sol, est d'autant plus rapide que la latitude est plus faible. Les couches d'air froid provenant de chaque hémisphère arrivent donc près de l'équateur animées d'une vitesse moindre que celle des couches d'air qui s'y trouvent déjà. Le retard qu'elles éprouvent les fait donc paraître se mouvoir en sens inverse du mouvement diurne. Le premier mouvement ayant lieu du nord au sud pour l'hémisphère boréal, du sud au nord pour l'hémisphère austral, et le second affectant le sens de l'est à l'ouest, il en résulte un vent constant du nord-est dans l'hémisphère boréal, et un vent constant du sud est dans l'hémisphère austral.

Ce sont les vents *alizés*, ainsi nommés d'un vieux mot français *alis* signifiant *régulier*.

Quant aux *moussons*, ce sont des vents régnant en mer et qui soufflent six mois dans un sens et six mois dans l'autre. Dans l'hémisphère boréal, la mousson du printemps com-

mence en avril, et celle d'automne en octobre. C'est l'inverse dans l'autre hémisphère. La mer des Indes, la région de l'Atlantique comprise entre l'Amérique du Sud et l'Afrique, le Pacifique à la hauteur du Mexique et de l'isthme de Panama, sont le théâtre de ces vents périodiques. D'après Maury, on peut considérer les moussons comme des vents alizés du nord-est ou du sud-est, déviés par la raréfaction de l'air qui s'opère au-dessus des plaines arides échauffées par le Soleil. Il en résulte un courant venant de la mer et tendant sans cesse à rétablir l'équilibre.

CHAPITRE III.

LE SOLEIL.

FORME ET DIMENSIONS DU SOLEIL ; SA DISTANCE A LA TERRE. — TACHES QUI PARSÈMENT SON DISQUE. — MOUVEMENT DE ROTATION DU SOLEIL. — PÔLES ET ÉQUATEUR SOLAIRES. — DÉTAILS SUR LES TACHES. — HYPOTHÈSES SUR LA CONSTITUTION PHYSIQUE DU SOLEIL. — INTENSITÉS DE CHALEUR ET DE SA LUMIÈRE.

Le disque du Soleil a la forme rigoureuse d'un cercle. C'est un fait qu'on peut consiater à l'œil nu, quand l'éclat éblouissant des rayons de l'astre est atténué par l'interposition de brouillards épais ; mais d'ailleurs de nombreuses mesures micrométriques ont mis hors de doute l'égalité parfaite de tous ses diamètres. Il est vrai de dire qu'à l'horizon la forme du disque solaire paraît sensiblement aplatie ; mais c'est là un effet de la réfraction atmosphérique, effet qui disparaît complétement quand on observe le Soleil à l'époque de ses plus grandes hauteurs méridiennes.

Nous verrons bientôt que le Soleil a un mouvement de rotation sur lui-même en vertu duquel il nous présente successivement toutes ses faces. La forme réelle de l'astre est donc celle d'une sphère, à laquelle on n'a pu reconnaître aucun aplatissement sensible.

Les dimensions apparentes du Soleil varient dans le cours d'une année : c'est cette variation, nous l'avons vu, qui a permis de calculer les variations de ses distances à la Terre et d'en déduire la forme de l'orbite terrestre. Aux époques de sa

distance moyenne, le diamètre solaire mesure environ 32′. A son apogée, le 1er juillet, il est de 31′ 31″ et à son périgée, vers le 1er janvier, il atteint 32′ 35″.

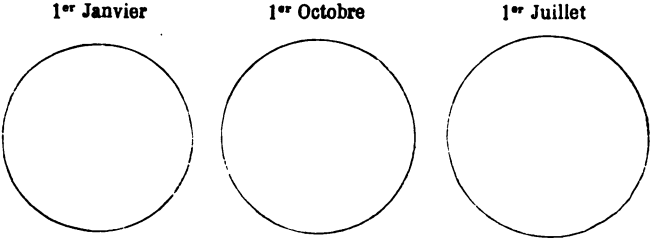


Fig. 54. Dimensions apparentes du disque du Soleil, à ses distances extrêmes et moyenne de la Terre.

Pour passer des dimensions apparentes aux dimensions réelles, il faut connaître la distance qui sépare la Terre du Soleil. Cette distance, telle qu'elle résulte des mesures les plus récentes de la parallaxe solaire[1], équivaut à 23 140 rayons de l'équateur, c'est-à-dire en nombres ronds, à 147 500 000 kilomètres ou à 36 875 000 lieues.

Ces derniers nombres mesurent la distance moyenne : les distances extrêmes s'en déduisent aisément quand on connaît l'excentricité de l'orbite terrestre. On trouve alors que le Soleil, à l'époque de sa distance maximum, est éloigné de la Terre de 23 530 rayons terrestres, ou 37 500 000 lieues, et à sa distance minimum de 22 750 rayons ou 36 270 000 lieues.

1. On verra plus loin quel est le principe des méthodes employées pour déterminer la distance d'un astre à la Terre, et quelle est la signification du mot *parallaxe*. La première mesure un peu précise de la distance du Soleil date du milieu du siècle dernier; elle avait été déduite des observations des passages de la planète Vénus au devant du disque du Soleil, et évaluée à 24 000 rayons terrestres. Mais des travaux récents et de natures diverses, s'accordent à donner à la distance de la Terre au Soleil une valeur un peu moindre, dont les prochains passages de Vénus permettront de vérifier l'exactitude. Celle que nous avons adoptée est une moyenne entre les résultats nouveaux auxquels nous venons de faire allusion.

Arrêtons-nous un instant sur cette distance qui sert d'unité à toutes les autres distances, soit dans notre monde solaire, soit dans le monde sidéral. Il est difficile, au simple énoncé des nombres qui précèdent de se faire une idée un peu juste de la longueur des lignes qu'ils mesurent : quelques comparaisons feront mieux comprendre combien elle est considérable.

Il est aisé de faire les calculs dont nous donnons ici les résultats : un train express de chemin de fer, parcourant sans s'arrêter jamais 50 kilomètres par heure, n'arriverait au Soleil qu'après 336 ans et 7 mois. Si le son pouvait se propager à travers les espaces célestes, du Soleil à la Terre, un son dont l'intensité serait assez grande pour ébranler l'air dans un aussi grand intervalle, ne serait perçu que 13 années 3/4 environ après l'instant de son émission. Enfin, la lumière elle-même, dont le mouvement de propagation est le plus rapide de tous les mouvements connus, met 8 minutes 15 secondes pour franchir la même distance.

Arrivons maintenant aux dimensions du Soleil. Le rayon de cette immense sphère vaut près de 108 fois le rayon équatorial de la Terre (107.865). Évalué en kilomètres, il en mesure 686 000 ou 175 500 lieues, ce qui donne 4 312 000 kilomètres environ pour la circonférence d'un de ses grands cercles.

Si des dimensions linéaires, on passe aux dimensions superficielles, on trouve 5 920 000 millions de kilomètres carrés, c'est-à-dire 11 635 fois la surface terrestre.

Enfin le volume du Soleil ne vaut pas moins de 1 255 000 fois celui de notre globe, ce qui donne en cubes d'un kilomètre de côté le nombre énorme 1 354 000 000 000 000 000.

La Lune, comme nous le verrons bientôt est à une distance moyenne de la Terre égale à 60 rayons terrestres environ. Si donc on imaginait que le centre de la sphère solaire vint à coïncider avec le centre de la Terre, non-seulement l'orbite tout entière de la Lune serait comprise à l'intérieur du corps du Soleil, mais il y aurait encore 48 fois le rayon de la Terre entre la circonférence de cette orbite et la surface de l'astre immense. La figure 55 donne une idée exacte de ces pro-

portions, et de la prodigieuse grosseur de l'astre qui distribue tout autour de lui la lumière et la chaleur.

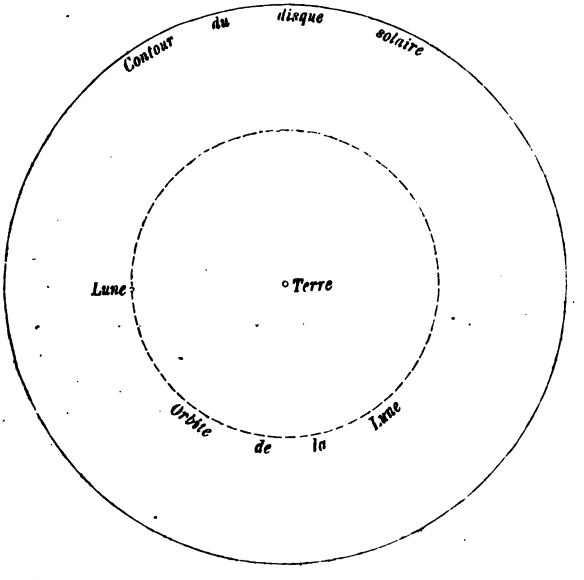


Fig. 55. Dimensions comparées du globe du Soleil et de l'orbite de la Lune.

La surface du disque solaire est d'ordinaire si éblouissante qu'il est impossible de l'observer à l'œil nu. Les astronomes adaptent à leurs lunettes des verres noirs qui en affaiblissent l'éclat et permettent de l'explorer en détail.

Or, dès qu'une pareille observation a été rendue possible, le grossissement des instruments a fait voir que le disque est fréquemment parsemé de petits points noirs de forme irrégulière qu'on appelle communément les taches du Soleil. C'est en 1611 que ces taches ont été observées pour la première fois par l'astronome Jean Fabricius et presque simultanément par Galilée.

Les taches du Soleil ont tout d'abord révélé une particularité fort intéressante, dont Jordano Bruno et Képler avaient eu le soupçon, c'est que le Soleil est doué d'un mouvement de rotation autour d'un de ses diamètres.

En effet, si l'on observe une tache au moment où elle fait son apparition sur le bord oriental du Soleil, on la verra peu à peu se déplacer, s'éloigner du bord, gagner les parties centrales, puis se rapprocher insensiblement du bord occidental où elle finit par disparaître. Toutes les taches sont animées d'un mouvement semblable qui s'effectue toujours dans le même sens. La plupart du temps, la même tache qu'on a vue traverser ainsi le disque du Soleil, reparaît un certain temps après au bord même où elle avait été primitivement observée, et elle décrit de nouveau un arc à peu près égal sur le disque.

On crut d'abord que les taches étaient produites par le passage de petits corps obscurs au devant du Soleil; mais cette hypothèse était inconciliable avec la variation de leur vitesse apparente. Sur les bords, cette vitesse est d'abord très-petite; elle va ensuite en croissant jusqu'au centre, puis elle diminue dans la seconde moitié de la trajectoire. On a pu s'assurer par des mesures rigoureuses, que la vitesse des taches varie de la même manière que si elle était due au mouvement uniforme d'un point se déplaçant à la surface d'une sphère[1].

D'ailleurs, l'ensemble avec lequel les mouvements de plusieurs taches s'effectuent toujours à la surface de l'astre ne permet pas de supposer qu'il s'agit de corps indépendants, mobiles sur cette surface.

De là, cette double conséquence, que la forme réelle du Soleil est celle d'une sphère, animée d'un mouvement uniforme de rotation autour d'un de ses diamètres. En observant un grand nombre de taches, on est arrivé à mesurer la durée de la rotation qui est d'environ vingt-cinq jours (ce nombre est relatif aux taches qui se meuvent le long de l'équateur solaire[2]).

1. C'est-à-dire que la vitesse apparente varie proportionnellement aux sinus-verses des arcs de rotation.

2. D'après les recherches de M. Carrington, la durée de la rotation

Il s'écoule 27 jours 12 heures environ entre l'apparition d'une tache et sa réapparition au même bord du Soleil : c'est là la durée de la rotation apparente ; mais la rotation réelle est moindre d'environ deux jours, ainsi qu'on va s'en rendre compte aisément.

Considérons une tache *a*, au moment où elle coïncide avec

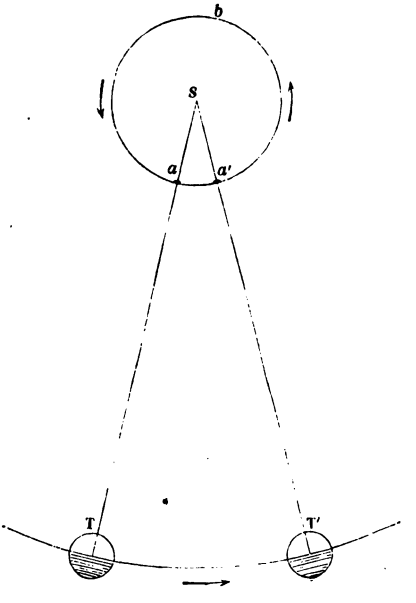


Fig. 56. Différence de durée de la rotation apparente du Soleil et de sa rotation réelle.

le centre du Soleil, je suppose, et faisons abstraction des déplacements irréguliers qu'elle peut subir à la surface de l'as-

déduite du mouvement des taches varie avec la latitude ; les différentes couches de la surface solaire se meuvent plus lentement à mesure qu'on s'éloigne de l'équateur. A l'équateur même, la durée de la rotation est 24 jours 23 heures 18 minutes.

tre. Une rotation entière nous semblera s'être effectuée, lorsque la même tache sera revenue occuper le même point central, après 27 jours 12 heures. Or, pendant ce temps, la Terre, notre observatoire mobile, se sera déplacée sur son orbite, et aura décrit un arc, de T, sa position primitive, en T', sa position nouvelle.

En ce moment, la tache a tourné non-seulement d'une circonférence entière, mais encore d'un arc *aa'*, de sorte qu'elle a réellement effectué plus d'une rotation complète.

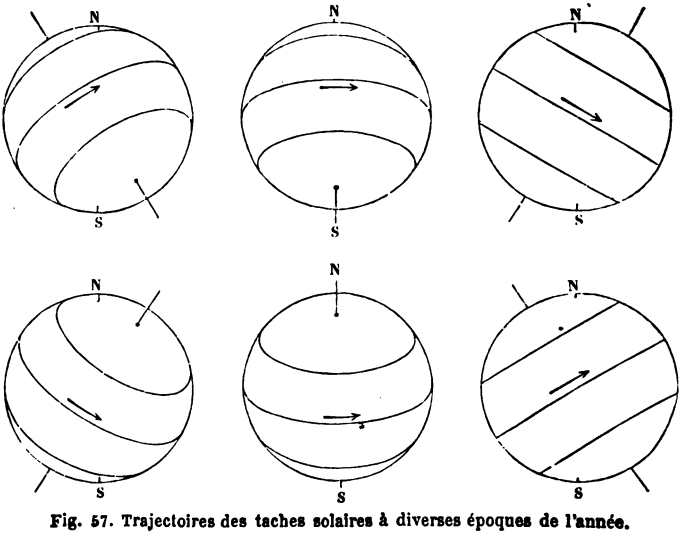


Fig. 57. Trajectoires des taches solaires à diverses époques de l'année.

En d'autres termes, le point de la surface du Soleil qui correspondait d'abord au centre du disque est maintenant un peu plus à l'orient du nouveau point central *a'*, grâce au mouvement de la Terre. La durée apparente de la rotation dépasse donc la durée réelle, de tout le temps nécessaire pour parcourir le chemin *aa'*. Un calcul des plus simples fait voir que ce temps est d'environ deux jours.

Les positions des pôles et de l'équateur solaire ont été déduites pareillement de la direction constante que suivent les taches dans leur mouvement. On a reconnu ainsi que le plan de l'équateur du Soleil fait un angle de 7° 15′ sur le plan de l'écliptique, de sorte que l'axe de rotation n'est pas

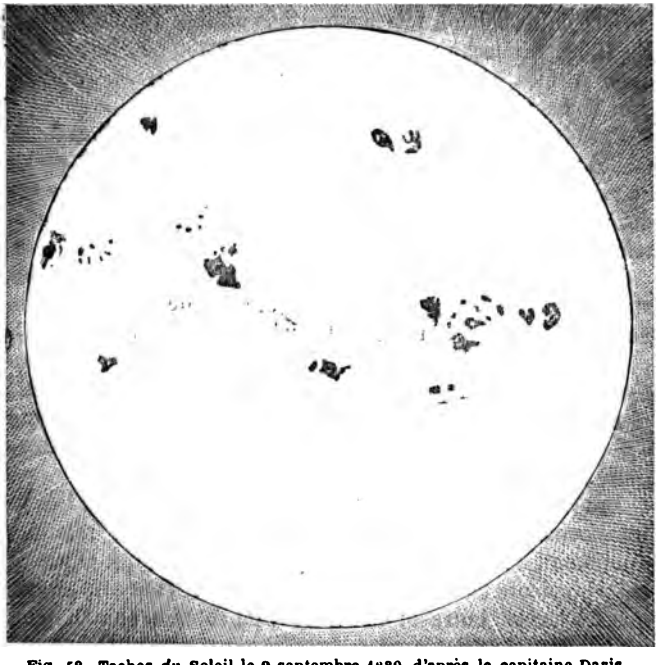


Fig. 58. Taches du Soleil le 2 septembre 1839, d'après le capitaine Davis.

tout à fait perpendiculaire sur ce plan. Il résulte de cette inclinaison que les trajectoires des taches vues de la Terre, paraissent comme des courbes dont la convexité est tournée, tantôt vers le pôle nord, tantôt vers le pôle sud, suivant l'époque de l'année où on les observe, et, à deux époques particulières, comme des lignes droites parallèles (fig. 57).

Les taches du Soleil ne se montrent pas sur toutes les parties de son disque : elles sont circonscrites dans deux zones situées de part et d'autre de l'équateur, et ne dépassent guère le 45e degré de latitude.

Elles sont à la fois très-variées de formes et de dimensions. Il n'est pas rare d'en voir dont l'étendue est plus grande que celle de la Terre même. Schrœter en a mesuré une dont la surface équivalait à 4 fois la superficie entière de notre globe. En 1839, une tache mesurait en longueur 300 000 kilomètres et en surface 200 millions de myriamètres carrés. Mais ce sont là des cas tout à fait exceptionnels.

Parfois, le disque solaire est complétement dépourvu de taches : d'autre part on en a vu jusqu'à 80 à la fois. Il paraît du reste certain que la variation qu'on observe, par la suite des années, dans le nombre des taches est soumise à une certaine périodicité.

Examinées en détail, la plupart présentent un ou plusieurs noyaux noirs, environnés d'une partie grisâtre qu'on nomme *pénombre*. On aperçoit quelquefois des noyaux sans pénombre et des pénombres dépourvues de noyaux. Tout autour de la pénombre, la surface brillante du Soleil semble plus éclatante que le reste du disque, comme si la lumière s'y était condensée. On appelle *facules* ces taches particulières.

Les taches du Soleil ne sont pas permanentes. Elles se transforment souvent dans l'intervalle d'une seule rotation, diminuent, se divisent, et finissent par disparaître. On a vu aussi plusieurs taches se réunir en une seule. Tout cela prouve que les taches, outre le mouvement de rotation auquel elles participent, ont des mouvements propres quelquefois très-rapides. Elles affectent les formes les plus bizarres, tantôt rondes et régulières, tantôt déchiquetées en une multitude de fragments, tantôt sous l'apparence d'immenses tourbillons.

La surface du Soleil, partout où n'existent ni taches ni facules, est loin d'être uniformément brillante. On y aperçoit, quand on se sert d'instruments assez puissants, une multitude de points obscurs qui donnent au fond lumineux l'aspect du pointillé d'une gravure. La figure 60 donne une idée de

cette apparence, qu'on explique, en supposant que la surface du Soleil, loin d'être de niveau, est constamment recou-

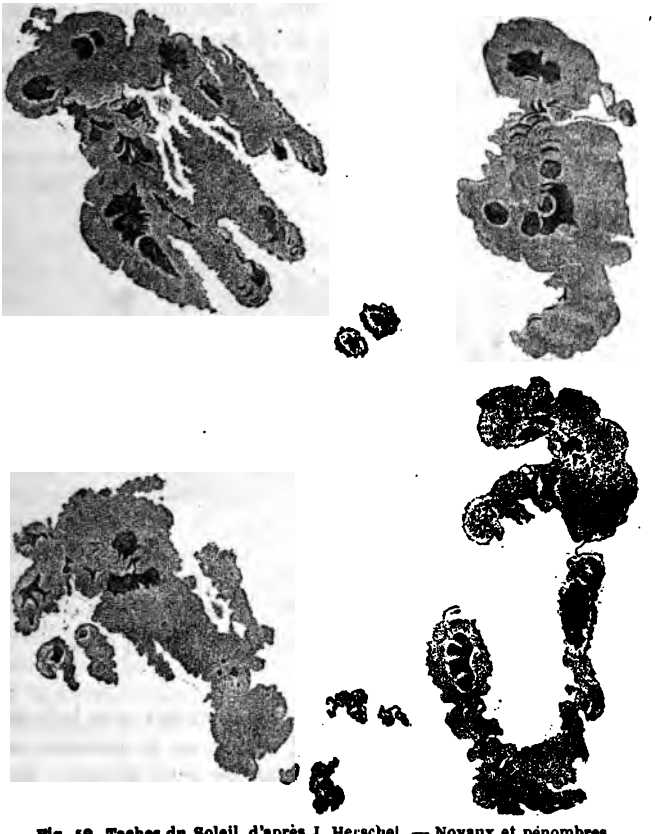


Fig. 59. Taches du Soleil, d'après J. Herschel. — Noyaux et pénombres.

verte d'ondulations semblables aux vagues d'une mer agitée. Les savants leur donnent divers noms : *feuilles de saule*, *grains de riz*, *lucules*, etc.

En étudiant la manière dont la forme d'une tache varie, pendant la période de visibilité, on s'est assuré que ce sont autant de cavités dont le noyau forme le fond et dont la pénombre indique les talus. En effet, quand une tache régulièrement entourée de pénombre arrive au bord du Soleil et va disparaître, c'est la partie de la pénombre tournée vers le centre qui diminue et disparaît la première. Le noyau dispa-

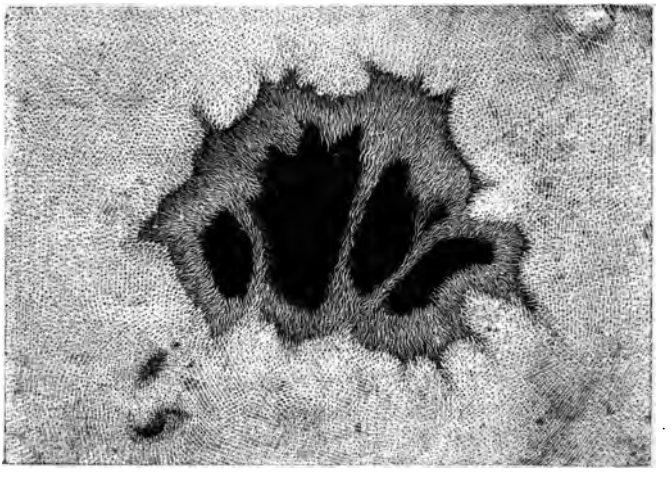


Fig. 60. Tache solaire, d'après Nasmyth. Lucules ou feuilles de saule.

raît ensuite, et le côté de la pénombre tournée vers le bord reste encore visible. Le même phénomène se présente en sens inverse quand la tache apparaît au bord oriental. Ces particularités s'expliquent aisément par la perspective, si l'on suppose que la tache est une cavité en forme de cône renversé, une sorte de déchirure pratiquée dans les couches les plus voisines de la surface du Soleil.

Les phénomènes des taches solaires ont donné lieu à diverses hypothèses sur la constitution physique du Soleil, mais

ces théories n'ont pas reçu encore la consécration d'un assentiment général, et les astronomes les plus éminents sont partagés sur ce point important.

D'après la théorie ébauchée par Wilson, complétée par Herschel et Arago, le Soleil serait formé d'un noyau relativement obscur, entouré d'une atmosphère nébuleuse non lumineuse par elle-même, laquelle serait enveloppée d'une couche gazeuse en ignition, source de la lumière et de la chaleur du Soleil.

Cette structure étant admise, voici comment on rend compte des phénomènes des taches : des éruptions volcaniques, émanées du noyau central font, de temps à autre, des trouées dans les deux atmosphères, mettent à nu le noyau obscur, et laissent voir sur les côtés l'atmosphère nébuleuse : et ainsi s'expliquent le noyau noir des taches, l'enveloppe grisâtre des pénombres, et les facules produites par l'accumulation de la matière sur les bords extérieurs de l'orifice.

Cette hypothèse est aujourd'hui gravement atteinte par les résultats d'observations nouvelles, notamment de celles qui accusent des vitesses inégales dans la rotation des zones de latitude différentes.

C'est en discutant les observations dont nous parlons, et que nous avons dit plus haut être dues à M. Carrington, qu'un astronome français, M. Faye, a élaboré une théorie nouvelle dont voici un aperçu sommaire :

Selon M. Faye, le Soleil serait une sphère gazeuse, dont le noyau très-dense serait à une température excessivement élevée. Le refroidissement causé par le rayonnement externe amènerait les couches supérieures à l'état d'incandescence complète, tandis que le noyau plus chaud resterait plus obscur. Des courants ascendants et descendants dus à la précipitation incessante des particules incandescentes, produiraient des éclaircies dans l'enveloppe lumineuse extérieure : de là les taches, qui ne sont autre chose que des portions du noyau moins lumineux vues à travers la photosphère.

L'analyse spectrale a fait connaître quelques-unes des substances chimiques dont la masse du Soleil est formée : le so-

dium, le fer, le nickel, le cuivre, le zinc, le barium y existent à l'état de vapeurs métalliques.

La lumière solaire, telle qu'elle nous arrive à la surface de la Terre, est, selon Arago, au moins 15 000 fois plus intense que la flamme d'une bougie. « Selon l'énergie de la pile employée, ajoute-t-il dans son *Astronomie populaire*, on trouve que la lumière électrique varie de la cinquième partie au quart de celle du Soleil. »

Comparée à l'éclat de la pleine Lune, la lumière du Soleil est 800 000 fois plus éclatante que celle de la pleine Lune. Cela revient à dire qu'il faudrait 800 000 pleines lunes dans le ciel pour produire un jour aussi éclatant que celui du Soleil sans nuages.

On a calculé aussi la quantité de chaleur incessamment rayonnée dans tout l'espace par l'immense foyer de notre monde. Voici une comparaison qui peut donner une idée de son activité calorifique. Imaginons qu'une colonne cylindrique de glace de 18 lieues de diamètre soit incessamment lancée dans le Soleil, et que l'eau fondue soit aussitôt enlevée. Pour que toute la chaleur solaire fût employée à la fusion de la colonne de glace, sans qu'aucun rayonnement extérieur se produisît, il faudrait lancer cette colonne dans le Soleil avec la vitesse de la lumière. Ou si l'on veut la chaleur, du Soleil pourrait, sans diminuer d'intensité intrinsèque, fondre en une seconde de temps une colonne de glace de 4120 kilomètres carrés de base et de 300 000 kilomètres de hauteur !

Résumons en quelques lignes l'influence multiple et continue du Soleil sur les astres qui gravitent autour de lui et notamment sur notre Terre.

Il agit sur elle par sa masse, soit qu'il la maintienne dans son orbite à des distances dont la variabilité est réglée par des lois inflexibles, soit qu'il combine son action avec celle de la Lune pour produire le mouvement oscillatoire semi-diurne des eaux de l'Océan. La chaleur des rayons solaires est la cause principale des perturbations d'équilibre des couches atmosphériques. C'est elle qui donne naissance aux vents, aux courants aériens et pélagiques, à la vaporisation de l'eau

des fleuves, des lacs, de la mer, et qui produit ainsi une circulation continue des fluides à la surface de la planète. Cette action se trouve être ainsi le principe des modifications séculaires des couches géologiques, par la dégradation lente mais continue des roches, et par les transports de matière dus aux courants. C'est la chaleur et la lumière de l'astre central qui distribuent partout la vie des êtres du monde végétal et du monde animal. « Tantôt, dit Humboldt, son action se manifeste tranquillement et en silence par des affinités chimiques et détermine les divers phénomènes de la vie, chez les végétaux dans l'endosmose des parois cellulaires, chez les animaux dans le tissu des fibres musculaires ou nerveuses; tantôt elle fait éclater dans l'atmosphère le tonnerre, les trombes d'eau, les ouragans.... Les ondes lumineuses n'agissent pas seulement sur le monde des corps, et ne se bornent pas à décomposer et à recomposer les substances; elles n'ont pas pour unique effet d'attirer hors du sein de la terre les germes délicats des plantes, de développer dans les feuilles la matière verte ou chlorophylle, de teindre les fleurs odorantes, ou de répéter mille et mille fois l'image du Soleil, au milieu du choc gracieux des vagues et sur les tiges légères de la prairie, courbées par le souffle du vent. La lumière du ciel, suivant les différents degrés de sa durée et de son éclat, est aussi en relation mystérieuse avec l'homme intérieur, avec l'excitation plus ou moins vive de ses facultés, avec la disposition gaie ou mélancolique de son humeur. C'est ce que Pline l'Ancien a exprimé par ces paroles : « Cœli tristitiam discutit sol, et humani nubila animi serenat[1]. »

1. Le Soleil chasse la tristesse du ciel, et dissipe les nuages qui obscurcissent le cœur humain.

CHAPITRE IV.

LA LUNE.

I

FORME DU DISQUE LUNAIRE. — LA LUNE A LA FORME D'UN SPHÉROÏDE ALLONGÉ VERS LA TERRE. — SES PHASES. — LUMIÈRE CENDRÉE; CAUSE DE CE PHÉNOMÈNE. — DIMENSIONS APPARENTES DU DISQUE LUNAIRE A L'HORIZON OU AU MÉRIDIEN. — EXPLICATION DE CETTE ILLUSION.

La Lune est le satellite de la Terre.

Elle accompagne notre planète dans son mouvement annuel autour du Soleil, effectuant en même temps une série de révolutions dans une orbite elliptique qui a la Terre pour foyer.

Comme la plupart des astres dont se compose notre système planétaire, la Lune a la forme d'un sphéroïde non lumineux par lui-même, mais recevant sur une moitié de sa surface la lumière du Soleil. Il est aisé de constater ces faits par l'observation.

En effet, la Lune se présente à nous, aux diverses époques de sa révolution, tantôt sous la forme d'un disque complétement éclairé, et alors sa forme est exactement circulaire; tantôt sous la forme d'un croissant plus ou moins échancré dont le bord extérieur est un demi-cercle et dont le bord concave est une moitié d'ellipse; tantôt enfin sous la forme d'une surface en partie composée d'un demi-cercle, en partie d'une moitié d'ellipse (fig. 61 et 62).

Ces apparences sont précisément celles que présenterait une boule sphérique dont la périphérie serait successivement éclairée par une source lumineuse, dont la position varierait relativement à la boule elle-même.

D'ailleurs, l'observation prouve que c'est toujours la même

Fig 61. Forme du croissant lunaire. — Fig. 62. Forme du disque de la Lune avant ou après la pleine Lune.

face, à peu de chose près, que la Lune montre à la Terre, de sorte qu'il serait absurde de supposer, comme l'ont fait les anciens, qu'une moitié de l'astre est lumineuse par elle-même et l'autre obscure.

Enfin, l'étude des positions relatives du Soleil, de la Terre et de la Lune, nous démontrera bientôt sans réplique, que c'est toujours l'hémisphère lumineux de notre satellite qui est directement tourné vers le foyer de notre système, d'où il résulte avec évidence que la Lune est un corps opaque, dont la surface réfléchit dans l'espace les rayons du Soleil.

En examinant la Lune aux diverses époques de son cours, à l'aide d'une lunette, on observe que le demi-cercle formant le bord extérieur est toujours nettement terminé, tandis que la moitié elliptique, c'est-à-dire la ligne de séparation de la lumière et de l'ombre est toujours irrégulière et dentelée. Les dentelures proviennent des inégalités de la surface, des élévations et des dépressions du sol dont les reliefs sont accusés par l'illumination des rayons solaires. Sur les bords,

les inégalités dont nous parlons se projettent les unes sur les autres, et il en résulte l'apparence lisse et polie que nous venons de signaler.

On voit donc que si la Lune a la forme générale d'une sphère, cette sphéricité est néanmoins imparfaite, comme celle du globe que nous habitons.

Le disque lunaire ne laisse apercevoir aucune trace d'aplatissement, bien que l'un des diamètres de la face visible aboutisse à peu près aux deux pôles de rotation. D'après des considérations théoriques, il paraît certain que le globe de la Lune est de forme allongée dans la direction de la ligne qui joint son centre au centre de la Terre. C'est à cette circonstance, qui est une conséquence des lois de la pesanteur, que Laplace attribue la parfaite égalité de la durée du mouvement de rotation et de celle du mouvement de révolution de notre satellite.

Suivons la Lune dans le cours d'une de ses périodes, et notons les divers phénomènes qui accompagnent chacune de ses phases.

On dit qu'il y a *nouvelle Lune*, quand notre satellite n'est visible, ni pendant le jour ni pendant la nuit. La raison de cette invisibilité, nous venons de le dire, est dans la situation de la Lune, très-voisine en apparence du lieu que le Soleil occupe lui-même dans le ciel : elle tourne donc alors vers la Terre son hémisphère obscur qui se trouve perdu dans les rayons éblouissants de l'astre. Cette disparition de la Lune dure deux ou trois jours ; mais l'instant précis de la Lune nouvelle, dont l'indication est donnée par les annuaires astronomiques, a lieu quand la Lune et le Soleil ont précisément même longitude. On dit alors que la Lune est en *conjonction*.

Le deuxième et le troisième jour après cet instant[1], et le soir un peu après le coucher du Soleil, on voit apparaître la

1. Hévélius assure n'avoir jamais observé la Lune plus tôt que 40 heures après, et 27 heures avant sa conjonction, de sorte que la durée minimum de sa disparition est de 67 heures, un peu moins de trois jours. Cette durée varie suivant les climats et suivant la latitude de la Lune.

Lune sous la forme d'un croissant, dont la convexité est tournée vers le point où se trouve le Soleil, au-dessous de l'horizon.

Fig. 63. Première phase de la Lune.

Entraînée par le mouvement diurne, la Lune se couche bientôt à l'horizon occidental. Le lendemain, le même phénomène se reproduit ; mais déjà le croissant est moins délié, la partie lumineuse plus large, et la Lune, plus éloignée du Soleil, se couche aussi un peu plus tard que la veille.

Le quatrième jour après la *nouvelle Lune*, la forme et l'apparence de notre satellite, qui se couche seulement trois heures après le Soleil, est celle qu'on a représentée dans la figure 64.

La phase suivante est celle qu'on nomme le *premier quartier*. On dit alors que la Lune est *dichotome* (divisée en deux parties égales) (fig. 65). C'est entre le septième et le huitième jour de la Lune, qu'elle se montre à nous sous la forme d'un demi-cercle, en partie visible pendant le jour, et que le mouvement diurne n'amène au méridien que six heures environ après le passage du Soleil. Déjà, dans la phase précédente, les taches dont le disque de la Lune est parsemé étaient visibles. En ce moment, ces taches se distinguent avec une grande netteté sur le demi-cercle lumineux.

Fig. 64. Quatrième jour de la Lune.

Entre le premier quartier et la *pleine Lune*, sept jours s'é-

coulent de nouveau, pendant lesquels la forme de la partie éclairée approche de plus en plus d'être celle d'un cercle complet (fig. 66); la Lune se lève et se couche de plus en plus

Fig. 65. La Lune à son premier quartier.

Fig. 66. La Lune entre le premier quartier et la pleine Lune.

tard pendant cet intervalle, mais en tournant toujours vers l'occident la partie circulaire de son disque.

Enfin, elle nous montre entièrement sa partie éclairée quinze jours environ après la nouvelle Lune (fig. 67); alors l'heure de son lever est à peu près celle du coucher du Soleil, qui à son tour se lève quand la Lune se couche. Il est minuit quand elle parvient au plus haut de sa course, en langage astronomique, quand elle passe au méridien: alors le Soleil lui-même passe sous l'horizon au méridien inférieur, de sorte que, relativement à la Terre, la Lune est précisément à l'opposé du Soleil.

Fig. 67. La pleine Lune

Depuis l'époque de la pleine Lune jusqu'à la nouvelle Lune suivante — cette seconde moitié de la lunaison se nomme le

décours, — la forme circulaire de la partie éclairée du disque décroît progressivement et finit par se présenter, comme au début de sa marche, sous la forme d'un croissant fort délié. Mais alors c'est vers l'orient que la convexité sera désormais

Fig. 68. Décours de la Lune. Entre la pleine Lune et le dernier quartier.

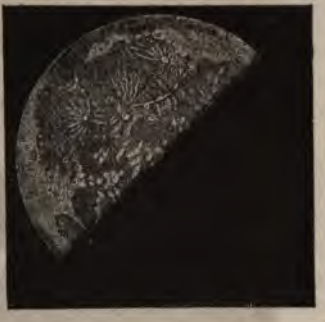


Fig. 69. Décours de la Lune. Dernier quartier.

tournée, de sorte que c'est toujours vers le Soleil que regarde le demi-cercle terminant la portion éclairée.

Au milieu de l'intervalle qui sépare la pleine Lune de la période suivante, le *dernier quartier* donne une phase semblable au *premier quartier*, mais inversement située (fig. 69).

Fig. 70. Décours de la Lune. Entre le dernier quartier et la Lune nouvelle.

Dans cette seconde partie de la période lunaire ou de la *Lunaison* — c'est le mot propre — la position apparente de la Lune dans le ciel se rapproche de plus en plus de celle du Soleil. Vers les derniers jours, elle précède de très-peu son lever, jusqu'à ce qu'elle se confonde de nouveau dans ses rayons pour disparaître et

ramener une nouvelle Lune, origine d'une lunaison nouvelle.

Nous venons de voir que la partie brillante de la Lune, celle que le Soleil éclaire directement, varie de forme dans le cours d'une lunaison entière, depuis le mince croissant lumineux de la Lune nouvelle et de la dernière phase, jusqu'au cercle entier que présente l'astre dans son plein.

Mais, outre cette lumière assez éclatante, le disque lunaire offre dans sa partie obscure, à certaines de ses phases, une lueur beaucoup plus faible, connue sous le nom de *lumière cendrée*. La lumière cendrée est aisée à observer à l'œil nu. Tout le monde peut la voir quelques jours avant ou après la nouvelle Lune, alors que notre satellite apparaît sous la forme d'un croissant délié. Toute la partie de l'hémisphère tourné vers nous, que ne frappent point les rayons du Soleil, s'aperçoit néanmoins distinctement, de manière à terminer le cercle entier du disque. La lumière est faible et comme phosphorescente.

Fig. 71. Lumière cendrée. Dernière phase de la Lune.

La lumière cendrée de la Lune nouvelle apparaît dès que le croissant est visible, et ne disparaît guère avant le premier quartier ; de même, au décours de la Lune, elle devient visible un peu après le dernier quartier, pour ne disparaître qu'avec notre satellite lui-même. D'après Schrœter et de Lalande, c'est vers le troisième jour qui suit ou qui précède la nouvelle Lune qu'elle est la plus vive.

Tout le monde peut remarquer que le contour extérieur de la partie brillante du disque paraît sensiblement déborder le contour de la partie que la lumière cendrée rend visible. C'est là une illusion produite par le phénomène optique de l'*irradiation*, qui donne aux objets une dimension apparente

d'autant plus grande qu'ils sont éclairés d'une lumière plus vive. L'intensité de la lumière cendrée peut être assez forte pour qu'on distingue les plus grandes taches de la Lune, même à l'œil nu. Grâce aux lunettes, on peut voir la lumière cendrée beaucoup plus longtemps qu'à la vue simple ; Schrœter l'a observée trois heures après le premier quartier, mais, ainsi que le rapporte Arago, c'est en se servant d'un grossissement de 160 fois appliqué à un télescope de $2^m.3$ de foyer.

D'où vient la lumière cendrée? Est-ce une lueur propre à la Lune?

Les anciens, qui n'avaient pas de notions bien positives en astronomie physique, la regardaient comme produite par une sorte de phosphorescence de la surface du sol lunaire. Mais l'explication en est trop simple pour que le moindre doute reste à ce sujet. Selon la plupart des astronomes, c'est Mœstlin qui, en 1596, reconnut que la lumière cendrée est la lumière même de la Terre, réfléchie sur la Lune par les phases visibles de notre globe. Mais la même explication, ne l'oublions pas pour la gloire d'un grand peintre, avait été donnée, cent ans avant Mœstlin, par Léonard de Vinci.

De la Lune, en effet, la Terre doit se voir précisément sous les mêmes apparences que notre satellite vu de la Terre. Mais les phases terrestres sont inverses des phases lunaires : c'est à l'époque de la Lune nouvelle que la Terre présente à l'hémisphère obscur de notre satellite sa face entièrement éclairée, de sorte que cet hémisphère reçoit alors par réflexion toute la lumière de l'hémisphère éclairé de notre globe.

Comme, d'ailleurs, la surface apparente de notre globe vu de la Lune est environ treize fois plus considérable que le disque lunaire, il est aisé de comprendre que le *clair de Terre* doit donner aux nuits de la Lune une lumière bien supérieure à celle de nos clairs de Lune. L'intensité serait même treize fois plus forte, si la surface extérieure des deux astres était douée du même pouvoir réfléchissant.

Les portions de l'hémisphère éclairé de la Terre visibles de la Lune sont d'ailleurs d'autant moindres que notre satellite est plus éloigné de la position qu'il occupe à l'époque de la Lune nouvelle, ce qui explique fort bien pourquoi la lumière

cendrée n'est guère visible qu'entre le dernier et le premier quartier. La lumière cendrée n'est donc autre chose que le reflet de la lumière du Soleil renvoyée une première fois de la Terre à la Lune, puis une seconde fois de la Lune à la Terre.

Quand la Lune se lève, à l'époque de son plein, par exemple, et que le ciel est bien pur à l'horizon oriental, son disque empourpré et d'un faible éclat lumineux apparaît énorme. Mais à mesure qu'il s'élève, ou, pour laisser le langage des apparences, à mesure que notre horizon, par le fait de la rotation diurne de la Terre, s'abaisse devant lui, ses dimensions diminuent, l'éclat de sa lumière augmente, et il semble reprendre peu à peu sa grosseur normale. Au plus haut point de sa course, quand l'astre passe au méridien, le disque paraît sous sa plus petite surface. Ce contraste entre les grosseurs de la Lune à l'horizon et au plus haut point du ciel est d'autant plus marqué, que, par l'effet des circonstances de son mouvement ou bien de la position du lieu de l'observeur, elle s'approche plus du zénith. Enfin le même phénomène se reproduit quand l'astre, s'abaissant à l'horizon, est sur le point de disparaître à l'occident. C'est là une illusion dont il est impossible de se défendre, alors même qu'on est prévenu que la variation du diamètre apparent de la Lune n'est pas réelle; illusion qui n'est pas, du reste, particulière au disque lunaire, et qu'on éprouve également quand on observe le disque du Soleil ou encore les intervalles apparents des étoiles, près de l'horizon et à leur plus grande hauteur méridienne.

On a donné diverses explications de cette apparence singulière; mais celle qui nous semble la plus rationnelle est due au géomètre Euler. Ce savant attribue l'illusion dont il s'agit à la forme surbaisssée de la voûte céleste, forme en vertu de laquelle nous jugeons les parties du ciel situées à l'horizon plus éloignées de nous que les parties surplombant nos têtes. Les dimensions angulaires de l'objet observé restant les mêmes à l'horizon et au zénith, c'est quand il nous semble le plus éloigné qu'il doit nous apparaître le plus gros.

Les mesures astronomiques démontrent clairement, d'ailleurs, qu'il n'y a là qu'une erreur de notre jugement, car le

diamètre apparent de la Lune est au contraire plus grand au zénith qu'à l'horizon. On vérifie aisément ce dernier fait à l'aide d'une lunette au foyer de laquelle on a tendu deux fils parallèles, dont l'intervalle est tel, qu'ils sont tangents au bord du disque, quand la Lune vient de se lever. Au moment du passage de l'astre au méridien, on voit que le disque dé-

Fig. 72. Diamètre de la Lune à l'horizon. — Fig. 73. Diamètre du disque de la Lune au zénith.

borde les fils qu'on a eu soin de ne pas déranger de leur position primitive.

Il est tout simple, du reste, qu'il en soit ainsi. Quand la

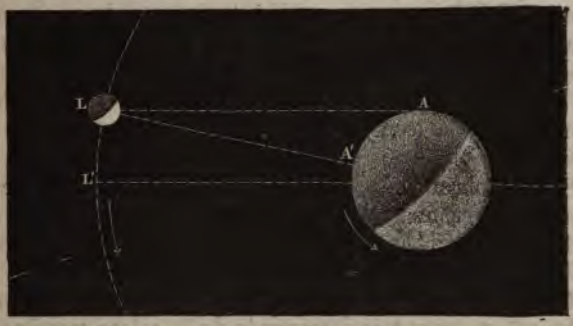


Fig. 74. Variation dans la distance de la Lune, de l'horizon au zénith.

Lune paraît à l'horizon d'un observateur A, sa distance AL diffère peu de la distance qui sépare le centre de la Terre

du centre de la Lune. Quand, par le mouvement de rotation diurne, l'horizon A vient en A', et que la Lune passe au zénith, la distance A'L est moindre que la distance des centres de tout le rayon terrestre. L'observateur s'est rapproché de la Lune ; il est donc tout naturel que les dimensions angulaires de son disque même augmentent.

II

MOUVEMENT PROPRE DE LA LUNE. — ORBITE APPARENTE ; MOUVEMENT RÉEL DE TRANSLATION AUTOUR DE LA TERRE; EXPLICATION DES PHASES. — RÉVOLUTION SYNODIQUE ET RÉVOLUTION SIDÉRALE; DIFFÉRENCE DE DURÉE; SA CAUSE. — FORME RÉELLE DE L'ORBITE LUNAIRE; NŒUDS. — RÉTROGRADATION DES NŒUDS ET DE L'AXE DE L'ORBITE. — LIGNE COURBE DÉCRITE PAR LA LUNE DANS L'ESPACE.

La Lune participe, comme tous les astres, au mouvement diurne de la sphère étoilée.

Mais elle possède, en outre, un mouvement propre assez rapide pour qu'on puisse le constater aisément en quelques heures. Ce mouvement est dirigé, comme le mouvement propre du Soleil, en sens contraire du mouvement diurne, c'est-à-dire d'occident en orient. Nous avons fait voir dans le Chapitre Ier (fig. 6) de quelle manière on constate le déplacement de son disque par rapport aux étoiles voisines.

Si l'on observe la Lune pendant tout le cours de ses phases, on reconnaît qu'elle fait de la sorte le tour entier du ciel en vingt-sept jours environ, c'est-à-dire dans un intervalle de temps un peu moindre que la lunaison.

L'orbite apparente que notre satellite décrit ainsi sur la voûte céleste peut être déterminée de la même manière que l'orbite apparente du Soleil, c'est-à-dire en marquant jour par jour la position occupée par le centre de la Lune sur une carte ou sur un globe céleste. On trouve alors que cette *orbite suit*, à peu de chose près, la circonférence d'un grand

cercle, peu incliné sur le plan de l'écliptique, mais dont l'inclinaison sur ce plan varie d'une lunaison à l'autre.

Le mouvement propre de la Lune s'explique de la manière la plus simple en admettant, comme nous l'avons dit plus haut, que cet astre se meut autour de la Terre, en même temps que notre planète tourne elle-même autour du Soleil. Cette circulation rend également compte de la succession des phases, comme la figure 76 va nous le faire comprendre.

En effet, supposons un instant la Terre immobile, et examinons quelles apparences doit nous présenter le globe lunaire, pendant le cours d'une de ses révolutions autour de notre globe. La Lune se trouve d'abord dans la direction de la ligne qui joint le centre de la Terre au centre du Soleil. Elle tourne vers nous son hémisphère obscur, elle est invisible : c'est l'époque de la nouvelle Lune ou de la *conjonction*. Dans les positions suivantes, la Lune s'éloigne du Soleil, et, par le fait, nous montre des portions de plus en plus grandes de son hémisphère éclairé, d'abord sous la forme d'un croissant, puis, au premier quartier d'un demi-cercle, et plus loin d'un disque qui approche de plus en plus d'un cercle complet.

La Lune arrive à l'opposé du Soleil : c'est l'époque de la pleine Lune ou de l'*opposition*. Dans la seconde moitié de son orbite, la Lune doit reprendre les mêmes apparences dans un ordre inverse; mais, tandis que le bord circulaire était tourné vers l'occident dans la première moitié de la révolution, on voit que dans la seconde moitié, c'est au contraire vers l'orient qu'il est tourné.

La *conjonction* et l'*opposition* reçoivent la dénomination commune de *syzygies*, tandis que le premier et le dernier quartiers se nomment les *quadratures*.

Nous avons déjà dit qu'on nomme *lunaison* l'intervalle de temps qui s'écoule entre deux nouvelles Lunes consécutives. Cet intervalle est de 29 jours, 12 heures, 44 minutes, 3 secondes. On appelle *révolution synodique* le mouvement qui ramène la Lune dans deux positions identiques, relativement au Soleil et à la Terre; mouvement dont la durée est par conséquent celle de la lunaison.

La durée de la révolution synodique surpasse d'environ

deux jours celle de la *révolution sidérale*, qui s'entend de l'intervalle compris entre deux passages consécutifs de la Lune au même point de son orbite.

Cette différence provient de ce que la Terre ne reste pas

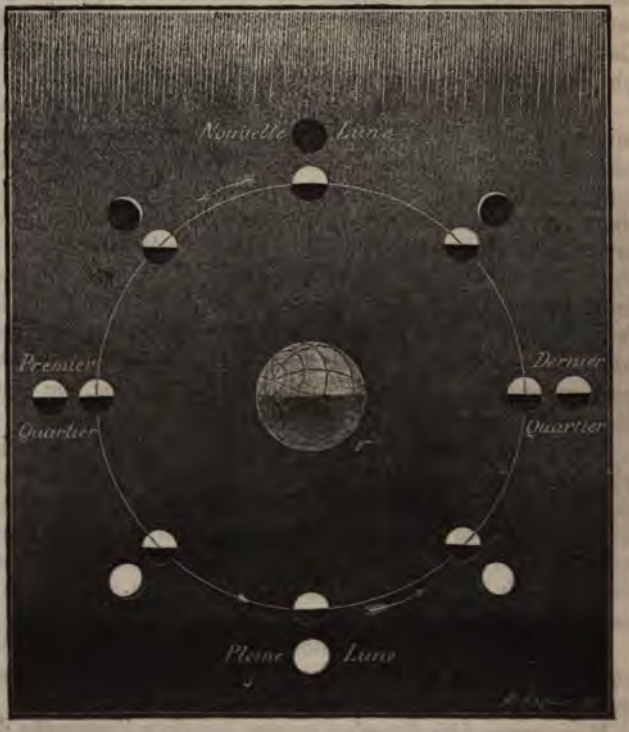


Fig. 75. Orbite de la Lune. Explication des phases.

immobile, ainsi que nous l'avons supposé un instant pour donner l'explication des phases. Pendant que la Lune tourne autour de la Terre, celle-ci, nous le savons, tourne autour du Soleil, et il est aisé de voir que cette circonstance produit la différence que nous venons de signaler.

Considérons la Lune au moment de la conjonction. A cette époque, les centres de la Lune, de la Terre et du Soleil sont dans un plan perpendiculaire à l'écliptique. La ligne TL va couper la sphère céleste en un point qui servira de repère pour reconnaître que la révolution sidérale est achevée. Alors en effet le rayon vecteur qui joint la Lune à la Terre L′T′ aboutira de nouveau en ce point marqué, je suppose, par une étoile, et sa direction sera parallèle au rayon vecteur TL. Mais par cela même, la Lune ne sera point encore en conjonction : il faudra qu'elle décrive en outre sur son orbite un

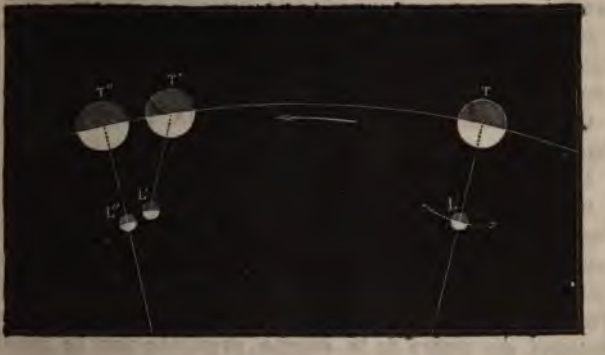


Fig. 76. Différence de durée de la revolution synodique et de la révolution sidérale.

arc mesurant l'angle compris entre la ligne T′L′ et le rayon qui du centre de la Terre aboutit au Soleil, c'est-à-dire un arc ayant précisément la même amplitude que celui décrit par la Terre entre les positions T et T″.

La durée d'une lunaison entière ou d'une révolution synodique dépasse donc celle de la révolution sidérale, et un calcul des plus simples fait voir que cette différence s'élève à environ 2 jours, 5 heures.

Ainsi la Lune décrit son orbite autour de la Terre en 27 jours, 7 heures, 43 minutes.

La trajectoire apparente de la Lune sur la voûte céleste

est, à peu de chose près, nous l'avons dit, un grand cercle. Cela vient de ce que son orbite est sensiblement plane. Mais cela ne nous indique rien sur la forme réelle de l'orbite.

Pour connaître cette forme, on mesure aussi souvent que possible le diamètre apparent de la Lune pendant le cours d'une révolution sidérale. Les variations de ce diamètre indiquent les variations inverses de la distance où la Lune se trouve successivement de la Terre, et par suite les rapports mêmes de ces distances.

Si donc, on porte sur chaque rayon vecteur, dans la direction indiquée par la position de la Lune sur la voûte céleste, une longueur proportionnelle à la distance correspondante, il n'y aura plus qu'à joindre les extrémités de ces rayons par une ligne continue pour obtenir une courbe semblable à l'orbite lunaire.

Cette courbe est une ellipse, dont la Terre occupe un foyer.

C'est aux extrémités du grand axe que la Lune se trouve à sa plus grande et à sa plus petite distance de la Terre, c'est-à-dire à son *apogée* et à son *périgée*. Si l'on représente par 1 la distance moyenne, les distances extrêmes auront pour valeur 1.055 et 0.945 environ. Le centre de la Terre qui occupe un des foyers de l'ellipse est alors à une distance du centre de la courbe exprimée par le nombre 0.055 : c'est ce qu'on nomme l'*excentricité*.

L'excentricité de l'orbite terrestre est environ 0.0168, c'est-à-dire inférieure au tiers de l'excentricité de l'orbite lunaire, ce qui revient à dire que cette dernière courbe a une forme plus allongée, ou diffère plus d'un cercle.

Le plan de l'orbite lunaire ne coïncide pas avec le plan de l'écliptique ; il fait avec ce dernier un angle à peu près constant de 5° 8′ 48″. On nomme *ligne des nœuds* l'intersection des deux plans, et *nœuds* les deux positions que la Lune occupe sur son orbite, lorsque son centre vient coïncider, deux fois par révolution, avec le plan de l'écliptique.

Le *nœud ascendant* est celui qui correspond au passage de la Lune, de l'hémisphère céleste austral dans l'hémisphère *boréal; l'autre* nœud est le *nœud descendant*.

Les nœuds de l'orbite lunaire ne conservent pas les mêmes positions sur l'écliptique ; mais ils se déplacent sans cesse en rétrogradant, c'est-à-dire dans un sens contraire à celui du mouvement de la Lune sur son orbite, ou de N en N'. Ce mouvement de rétrogradation des nœuds de la Lune est analogue à la précession des équinoxes ; mais il est beaucoup plus rapide, car les nœuds font le tour entier de l'orbite lunaire tous les 18 ans 2/3.

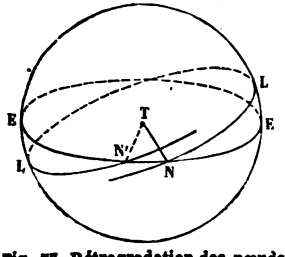


Fig. 77. Rétrogradation des nœuds de la Lune.

Le grand axe de l'ellipse lunaire ne conserve pas non plus la même position dans son plan. Il tourne dans ce plan, et dans le sens du mouvement de la Lune, de manière à effectuer une révolution entière en 3232 jours 1/2 ou environ 9 ans.

C'est à l'action combinée des forces attractives de la Terre et du Soleil que sont dus les mouvements que nous venons signaler, ainsi que toutes les autres inégalités dont le mouvement de la Lune est affecté.

Ces pertubations dans le mouvement de la Lune ont pour effet de modifier très-sensiblement la forme elliptique qu'une première approximation indique d'abord. En réalité cette orbite n'est pas une courbe fermée, ni même une courbe plane. Mais si, au lieu de rapporter l'orbite lunaire à la Terre supposée immobile, on cherche quelle est la ligne décrite par la Lune dans l'espace, par exemple dans l'intervalle d'une année, on trouve une ligne bien plus différente encore de l'ellipse. Le mouvement de la Lune, tel que nous l'avions étudié jusqu'ici, est un mouvement relatif ; son mouvement réel dans l'espace s'obtiendra en combinant ce mouvement relatif avec celui de la Terre autour du Soleil. En tenant compte de ces deux mouvements simultanés, on trouve que l'orbite annuelle de la Lune est une courbe de forme sinueuse dont la figure 78 peut donner une idée, si l'on y rétablit les proportions *exactes qui* existent entre la distance de la Terre

au Soleil et celle de la Lune à la Terre. On voit qu'elle est composée d'un peu plus de douze sinuosités dont chacune comprend un arc inférieur et un arc extérieur à l'orbite de la Terre. C'est une espèce particulière d'épicycloïde.

Dans la figure, l'orbite de la Lune semble tantôt convexe,

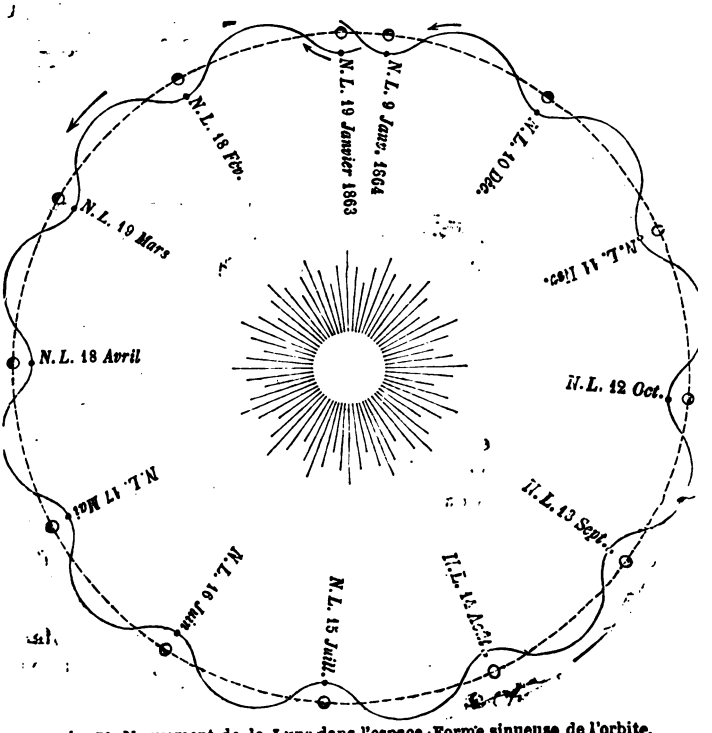


Fig. 78. Mouvement de la Lune dans l'espace. Forme sinueuse de l'orbite.

tantôt concave du côté du Soleil : on a démontré qu'elle ne possède pas d'inflection et qu'elle tourne toujours sa concavité du côté du Soleil. En outre, il ne faut pas oublier que ce n'est pas une courbe plane, puisque son plan varie constamment de position et d'inclinaison sur le plan de l'écliptique.

III

DISTANCE DE LA LUNE A LA TERRE. — IDÉE DE LA MÉTHODE EMPLOYÉE POUR DÉTERMINER LA PARALLAXE DE LA LUNE. — VARIATIONS DANS LES DISTANCES DE LA LUNE. — DIMENSIONS DU GLOBE LUNAIRE. — SURFACE. — VOLUME.

Quand les géomètres veulent connaître, à la surface de la Terre, la distance d'un point à un autre point inaccessible, séparé du premier, je suppose, par des obstacles qui n'empêchent pas de le viser, ils font une opération très-simple, une triangulation d'où ils peuvent déduire aisément la distance cherchée.

A étant le lieu de l'observateur, B le point inaccessible, on tire sur le terrain et l'on mesure une base rectiligne AC. En A, on mesure à l'aide du graphomètre l'angle que fait la ligne de visée BA avec la base AC. En C, on mesure de même l'angle BCA. Le triangle ABC est déterminé, puisqu'on connaît un côté et les deux angles adjacents. La géométrie permet alors de construire, ou la trigonométrie de calculer, la longueur inconnue AB.

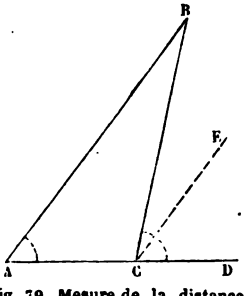


Fig. 79. Mesure de la distance d'un point inaccessible.

Remarquons qu'en passant de A en C, la direction suivant laquelle on voit le point inaccessible change. La ligne de visée au lieu de rester parallèle à AB s'incline, et il est aisé de voir sur la figure que la différence des angles avec la base BAC, BCD, est l'angle BCE qui est égal à l'angle en B, c'est-à-dire précisément à l'angle sous lequel un observateur placé en B verrait la base.

Eh bien, c'est cet angle en B, ou cette différence des angles de visée, qu'on nomme la *parallaxe* du point B.

La parallaxe varie, quand la base varie, ou mieux quand

varie le rapport de la distance inconnue avec la base. Plus ce rapport est grand, plus la parallaxe diminue, et il peut arriver que la distance cherchée soit si considérable relativement à la base, qu'il soit impossible de déterminer la parallaxe, tant sa valeur approche d'être égale à zéro. Nous verrons que c'est le cas pour la plupart des étoiles.

Appliquons ces principes à la recherche de la distance de la Lune à la Terre.

Soit A un lieu de la Terre où l'on observe la Lune L au moment de son passage au méridien. L'observateur mesure

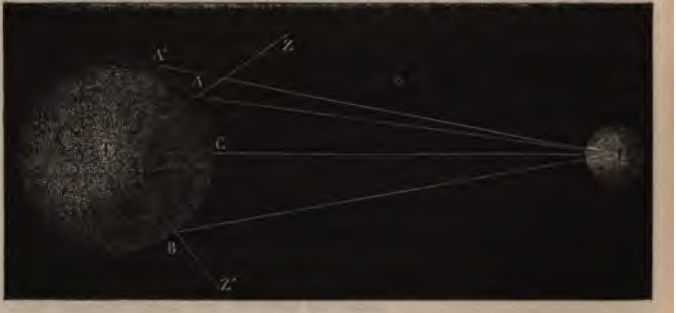


Fig. 80. Mesure de la distance de la Terre à la Lune.

à la lunette méridienne ou au cercle mural la distance zénithale du centre de la Lune, c'est-à-dire l'angle ZAL.

Sur le même méridien, il existe un lieu C où la Lune passe au même instant au méridien, mais au zénith; TCL est une ligne droite. Si l'on connaît la différence de latitude des lieux A et C, c'est-à-dire l'arc AC, mesure de l'angle ATC, le triangle LAT sera déterminé; car le rayon TA de la Terre est connu, ainsi que les deux angles à la base en A et en T. On pourra donc calculer soit la distance TL, soit la parallaxe de la Lune, ou l'angle sous lequel on verrait, du centre de la Lune, le rayon TA de la Terre. C'est ce qu'on nomme ici la *parallaxe de hauteur*.

Si le lieu où se trouve l'observateur est tel que la Lune

passant au méridien ait son centre à l'horizon, la parallaxe A'LC est dite *parallaxe horizontale*[1]; cet angle atteint alors sa valeur maximum. La parallaxe horizontale se déduit, d'ailleurs, par une formule, de la parallaxe des hauteurs.

Dans la pratique, on procède de la façon suivante. Deux observateurs situés sur le même méridien, l'un en A, l'autre en B, mesurent en même temps la distance zénithale, propre à chaque station de la Lune au moment de son passage au méridien. Les angles ZAL et Z'BL sont donc connus, et par suite leurs suppléments TAL et TBL. Les latitudes des deux lieux sont connues; dès lors, on connaît aussi l'angle ATD qui est la somme ou la différence des latitudes, selon que les points A et B sont dans le même hémisphère ou de chaque côté de l'équateur. Enfin, il en est de même des rayons terrestres TA, TB, lesquels peuvent être inégaux.

En construisant un quadrilatère semblable à TALB et en menant la tangente LA', on aura en même temps la parallaxe horizontale A'LT et la distance TL des centres de la Lune et de la Terre.

En réalité, ces quantités se déterminent par le calcul. C'est ainsi qu'ont procédé deux astronomes du dernier siècle, Lalande et Lacaille, en l'année 1756. Le premier de ces savants observait à Berlin, et le second au cap de Bonne-Espérance. Ils ont trouvé pour la parallaxe horizontale équatoriale, c'est-à-dire relative au rayon de l'équateur, la valeur 57' 40". Cette valeur est calculée pour la moyenne distance des deux astres.

Des mesures plus récentes fixent cette parallaxe moyenne à 57' 2".7, ce qui porte la distance moyenne du centre de la Lune au centre de la Terre à un peu plus de 60 rayons de l'équateur terrestre (60.273). C'est la 384e partie de la distance de notre planète au Soleil.

1. Quand nous avons donné la distance du Soleil à la Terre, nous avons dit que la parallaxe du Soleil avait été récemment déterminée et corrigée par plusieurs géomètres. C'est de la parallaxe horizontale équatoriale qu'il s'agit, c'est-à-dire de l'angle sous lequel on verrait, du centre du Soleil, le rayon de l'équateur, à la distance moyenne du Soleil à la Terre. Cet angle est un peu moindre que 9"; nous avons pris la moyenne 8".91 des divers résultats obtenus.

La plus grande distance de la Lune à la Terre s'élève à 64 fois environ le rayon équatorial de notre planète (plus exactement 63.583); tandis qu'à l'époque du périgée ou de sa moindre distance, elle n'est plus éloignée de nous que de 57 rayons de la Terre (56.964).

Entre la Terre et la Lune, ou mieux, entre le centre de la Terre et le centre de la Lune, il faudrait placer un chapelet de 30 globes égaux au globe terrestre, bout à bout et en ligne droite, pour remplir l'intervalle qui sépare la planète de son satellite, au moment où ce dernier se trouve à sa moyenne distance. Il faudrait 110 globes lunaires pour combler le même espace.

Traduisons maintenant ces distances en kilomètres ou en lieues.

Les centres de la Terre et de la Lune sont à une distance de 405 457 kilomètres ou 101 364 lieues à l'apogée; au périgée de 363 249 kilomètres ou 90 812 lieues, et enfin à l'époque de la moyenne distance, l'intervalle des centres mesure 384 353 kilomètres, c'est-à-dire 96 088 lieues.

Il est clair qu'il faudrait retrancher de tous ces nombres les deux rayons de la Lune et de la Terre, si l'on voulait avoir les distances des deux points les plus voisins des surfaces des deux globes. Alors les nombres précédents se réduisent aux nombres que voici :

Distance apogée.....	397 343^{kil}	ou 99 336	lieues.
— périgée.....	355 135	88 784	—
— moyenne.....	376 239	94 059	—

94 000 lieues! Ce n'est pas neuf fois et demie la circonférence entière de la Terre. On trouverait sans doute des marins qui, dans le cours de leurs voyages, ont parcouru un chemin aussi long, chemin que les trains express de nos voies ferrées franchiraient certainement en moins d'une année.

Supposons que l'espace qui sépare la Lune de la Terre soit entièrement rempli d'air, de manière à permettre au son de se propager d'un globe à l'autre. Si, à l'époque de la pleine Lune, une éruption volcanique avait lieu à la surface *de notre satellite*, le bruit de l'explosion ne nous parviendrait

que 13 jours 8 heures après l'événement, de sorte que nous n'en serions avertis qu'à peu près à la nouvelle Lune suivante. Le calcul suppose que la température de l'espace serait de 0°. Il faudrait un peu moins de temps, 8 à 9 jours environ, à un boulet de canon pour franchir la même distance, en supposant qu'il conservât sa vitesse constante de 500 mètres à la seconde. La lumière enfin, le plus rapide de tous les mouvements, bondit de la Lune à la Terre en 1 seconde 1/4.

Il ne s'agit ici que de mobiles à vitesses constantes; on pourrait aussi calculer le temps que mettrait un corps à tomber du centre de la Lune au centre de la Terre, ou, ce qui revient au même, le temps que mettrait la Lune à se réunir à notre planète, si la force tangentielle qui, combinée avec la pesanteur, lui fait décrire son orbite, venait à être subitement anéantie. Au bout de 6 jours 5 heures 40 minutes et 13 secondes, la catastrophe, dont nous n'avons pas besoin de décrire les épouvantables conséquences, serait consommée.

L'orbite elliptique que la Lune décrit autour de la Terre supposée immobile offre un développement de 2 400 000 kilomètres environ; la vitesse avec laquelle l'astre parcourt cette courbe varie selon la distance, mais elle est en moyenne de 1022 mètres par seconde.

La distance de la Lune à la Terre étant connue, il est aisé d'en déduire les dimensions de son globe; il suffit pour cela de résoudre un triangle rectangle dont l'hypoténuse est la distance des centres, et dont l'un des angles est le demi-diamètre apparent de la Lune, c'est-à-dire 15′ 33″.

Voici quelques données relatives aux dimensions réelles.

Le rayon de la Lune est environ les trois onzièmes, un peu plus du quart du rayon moyen de la Terre, ou plus exactement les 0.273 125 de ce rayon. Évalué en kilomètres, le diamètre lunaire mesure donc 3475 kilomètres, un peu moins de 869 lieues.

La circonférence d'un méridien offre un développement de 10 925 kilomètres, et la longueur d'un degré est égale à 30 346 mètres, 2731 lieues. Telle est la distance qu'aurait à parcourir, à vol d'oiseau, celui qui voudrait faire le tour du

monde lunaire. Je dis à vol d'oiseau, car les obstacles apportés par les aspérités montagneuses allongeraient singulièrement la longueur et la durée du voyage.

Quant à la superficie totale de la Lune, elle est un peu moindre que la treizième partie de la surface de la Terre (0.0746), et comprend environ 38 millions de kilomètres carrés, quatre fois environ la superficie du continent européen, ou 70 fois celle de la France. Cela donne 19 millions de kilomètres pour la superficie de l'hémisphère vu de la Terre.

Des dimensions linéaires et superficielles, si l'on passe au volume, on trouve que la Lune est environ 49 fois moins grosse que la Terre. C'est encore plus de 22 milliards de kilomètres cubes.

Fig: 81. Dimensions comparées de la Terre et de la Lune.

Comparée au volume du Soleil, la grosseur de notre satellite est une bien faible partie du globe immense dont elle nous renvoie la lumière. Il faudrait accumuler plus de 62 millions de Lunes pour remplir la prodigieuse sphère, et cependant les disques des deux astres nous semblent occuper à peu près des portions égales de la voûte étoilée. Mais, nous l'avons vu, cela tient à la grande inégalité des distances, dont l'une est près de 400 fois aussi grande que l'autre.

IV

MOUVEMENT DE ROTATION DE LA LUNE ; LA DURÉE DE LA ROTATION EST ÉGALE A LA DURÉE DE LA RÉVOLUTION SIDÉRALE. — LIBRATIONS ; LIBRATIONS EN LONGITUDE, EN LATITUDE ET DIURNE. — JOURS SIDÉRAUX ET SOLAIRES SUR LA LUNE. — INÉGALITÉ DES JOURS ET DES NUITS.

Outre son mouvement de révolution autour de la Terre, la Lune possède un mouvement de rotation autour d'un de ses diamètres.

Ce qui prouve la réalité de ce mouvement, c'est le fait, déjà constaté par nous, que la Lune présente toujours à la Terre la même portion de sa surface, le même hémisphère : ce sont toujours en effet les mêmes taches permanentes qui restent en vue pendant les révolutions successives, abstraction faite de certaines oscillations périodiques dont il sera bientôt question, et qui découvrent, tantôt au nord et au sud, tantôt à l'ouest et à l'est du disque, quelques parties de l'hémisphère invisible.

Le même fait démontre que la durée de la rotation est précisément égale à celle de la révolution sidérale, c'est-à-dire à 27 jours 8 heures environ.

En effet, considérons notre satellite pendant tout le cours d'une lunaison, d'une pleine Lune à la pleine Lune suivante par exemple. Joignons le centre de la Terre au centre de la Lune : ce rayon vecteur va rencontrer la surface de l'astre en un point A qui sera le centre du disque pour un observateur situé sur notre globe. La tache particulière que présente la surface de l'astre en ce point va donc continuer d'occuper ce centre à toutes les phases successives suivantes, pour l'observateur dont les positions successives seront les points T, T′, T″, T‴ et T⁗.

Le rayon lunaire qui aboutit au point A a donc dû prendre la série de directions dans l'espace qu'indique la figure 82, AT, AT′, AT″, *etc., c'est-à-dire* se mouvoir angulairement autor

du centre, de sorte qu'il a décrit une circonférence de cercle quand il arrive, par le mouvement de translation de la Lune, à occuper une direction parallèle à la direction primitive AT. Ce moment précède d'ailleurs évidemment l'époque de la

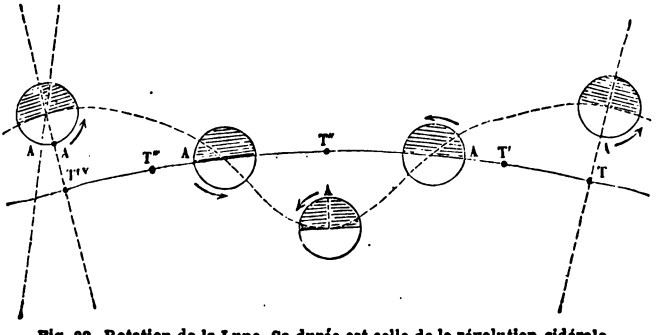


Fig. 82. Rotation de la Lune. Sa durée est celle de la révolution sidérale.

conjonction, puisqu'à ce moment le rayon AT''' fait avec sa direction première un angle précisément égal à l'angle décrit par la Terre sur son orbite. La rotation, comme on le voit, se trouve donc accomplie dans le même intervalle de temps que la révolution sidérale de la Lune. Elle s'effectue d'ailleurs dans le sens du mouvement de révolution de la Lune, c'est-à-dire d'occident en orient.

Nous venons de dire que c'est toujours le même point de la surface de la Lune, la même tache qui occupe le centre du disque. Cela n'est pas rigoureusement exact, et en réalité les taches sont affectées de divers mouvements, qui ont reçu le nom commun de *librations* et dont nous allons énumérer les causes.

En premier lieu, l'axe de rotation de la Lune n'est pas tout à fait perpendiculaire au plan de l'orbite, de sorte que son équateur fait avec ce plan un angle d'environ 3° 39'. Il en résulte que le même axe est à peu de chose près (il s'en faut de 1° 30') perpendiculaire au plan de l'écliptique.

Lors donc que la Lune est à l'un de ses nœuds, on aperçoit de la Terre les deux pôles de rotation de la Lune, ou du moins l'un d'eux et des points très-voisins de l'autre. Mais quand la Lune atteindra sa plus grande hauteur au-dessus

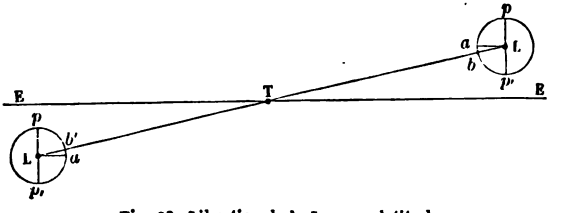


Fig. 83. Libration de la Lune en latitude.

du plan de l'écliptique, ou sa latitude boréale maximum en L, le pôle nord *p* deviendra invisible, et le pôle sud *p'* sera en évidence ainsi qu'une certaine étendue des régions avoisinantes. Le contraire aura lieu, quand la Lune, après une demi-révolution atteindra en L' sa plus grande latitude australe : c'est le pôle *p'* qui se trouvera masqué, et le pôle *p* deviendra visible. Dans les trois cas, ce n'est pas le même point de la surface qui forme le centre apparent du disque lunaire; mais des points *a*, *b* et *b'*, dont la position sur le disque, et par suite la latitude, est variable.

Ce mouvement se nomme *libration en latitude*.

Le mouvement de rotation de la Lune est un mouvement uniforme, tandis que son mouvement elliptique de révolution s'effectue avec une vitesse variable, maximum au périgée, minimum au contraire à l'apogée. Cette différence produit une oscillation des taches dans le sens de la longitude, ou de l'ouest à l'est, et permet à un observateur placé sur la Terre de voir des portions des régions occidentales et orientales de la Lune, au delà de l'hémisphère moyen visible. C'est la *libration en longitude*.

Dans tout ce qui précède, nous supposons toujours l'observateur placé au centre de la Terre, tandis qu'en réalité il se trouve à la surface et que le mouvement diurne lui fait décrire un arc autour de ce centre.

Pour le centre C de la Terre, le point central du disque est une même tache *a*, que les librations en latitude ou en longitude ne font pas sensiblement varier dans l'intervalle d'une rotation diurne.

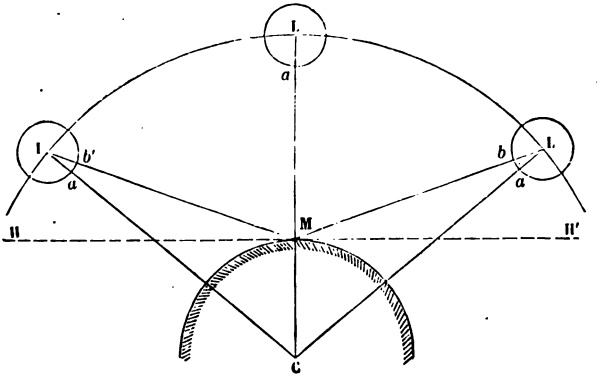


Fig. 84. Libration diurne de la Lune.

Dans le lieu où la Lune est au zénith, le rayon CL passe en M et en *a*, et c'est la même tache qui occupe le centre; mais quand la Lune est près de l'horizon, avant son coucher ou après son lever, ou en un autre point de la Terre si elle n'occupe pas le zénith, les rayons qui partent du point M pour aboutir au centre de la Lune rencontrent la surface du satellite en des points *b* et *b'*, différents de *a* et situés de part et d'autre de ce point. Ce ne sont donc pas les mêmes régions de la Lune qui sont en vue au même instant pour des lieux différents de la Terre, ou aux différents moments de la trajectoire diurne pour le même lieu.

C'est ce qu'on nomme la *libration diurne*.

Les mouvements de libration que nous venons de décrire augmentent la portion de la surface lunaire visible de la Terre. Beer et Mædler ont calculé que sur 1000 parties formant la surface totale, 424 seulement au lieu de 500 restent définiti-

vement cachées, 576 sont visibles. Sur 38 millions de kilomètres carrés qui forment cette surface, il y en a donc environ 22 millions que nous pouvons observer.

Du mouvement de rotation de la Lune et des apparences de ses phases, il faut conclure que chaque point de la surface possède une nuit et un jour, selon que la lumière du Soleil le laisse plongé dans l'ombre ou l'illumine de ses rayons. Mais, comme sur la Terre, il y a lieu de distinguer sur la Lune deux jours différents, inégaux en durée : le jour *sidéral*, qui s'écoule entre deux rotations successives et dont la durée est de 27 jours 7 heures 43 minutes et 11 secondes; et le jour solaire, intervalle compris entre deux retours du Soleil au même méridien, et dont la durée égale celle d'une lunaison entière, c'est-à-dire, 29 jours, 12 heures, 44 minutes, 3 secondes.

La différence entre le jour sidéral lunaire et le jour solaire, on le voit, s'élève à 53 heures 51 minutes ; tandis que le jour sidéral et le jour solaire terrestres ne diffèrent pas de 4 minutes (3^m 56^s). La cause est cependant la même, et se trouve tout entière dans cette circonstance, que chacun des deux astres, Terre et Lune, en même temps qu'il tourne sur lui-même, est emporté dans l'espace et décrit un arc autour du Soleil. Mais la durée réelle de la rotation de la Lune étant plus de 27 fois aussi grande que celle de la rotation terrestre, il en résulte pour les différences des jours sidéraux et solaires des deux astres une inégalité proportionnellement plus considérable.

Les jours et les nuits sont inégaux sur la Lune, comme sur le globe terrestre, suivant la latitude lunaire du lieu; c'est à l'équateur seulement que l'une et l'autre de ces périodes restent constamment égales et durent 354 heures et demie, c'est-à-dire la moitié d'une lunaison. Cette inégalité est due à la même cause que l'inégalité des jours terrestres, c'est-à-dire à l'inclinaison de l'axe de rotation de la Lune sur le plan de l'écliptique; mais comme cette inclinaison est très-faible, la différence de longueur des jours et des nuits varie d'abord d'une manière insensible, et ne commence à devenir considérable qu'à partir du 60e degré. Aux pôles mêmes, le Soleil

reste au-dessus de l'horizon pendant 179 jours consécutifs, presque la moitié d'une année.

V

CONSTITUTION PHYSIQUE DE LA LUNE. — TACHES SOMBRES; LES MERS LUNAIRES. — LA LUNE VUE AU TÉLESCOPE; MONTAGNES ANNULAIRES, CRATÈRES ET CIRQUES; PICS ET PITONS. — DIMENSIONS DES PRINCIPALES MONTAGNES DE LA LUNE. — LA LUNE N'A PAS D'ATMOSPHÈRE; ABSENCE DE NUAGES; ABSENCE D'EAU.

Tout le monde peut voir, à l'œil nu, les principales taches, sombres et brillantes, dont le disque lunaire est parsemé. Ces taches donnent à la surface de notre satellite un aspect caractéristique avec lequel on se familiarise aisément, et qui suffit pour constater le fait dont nous avons parlé plus haut, à savoir que la Lune tourne toujours vers nous le même hémisphère.

On remarque d'abord (fig. 67) que les grandes taches grises et sombres occupent surtout la moitié boréale du disque, tandis que les régions australes sont blanches et lumineuses : cependant, d'un côté cette teinte lumineuse se retrouve sur le bord nord-ouest, ainsi que vers le centre ; et d'autre part, les taches envahissent les régions australes du côté de l'orient, en même temps qu'elles descendent, mais moins profondément, à l'ouest du disque. Sauf une faible partie du bord nord-ouest, tout le contour de la Lune est blanc et lumineux et participe au ton des régions méridionales.

On avait donné jadis le nom de *mers* aux grandes taches sombres qui parsèment la moitié septentrionale de la Lune et qui envahissent une partie de la moitié australe à l'occident et à l'orient. Cette dénomination a persisté jusqu'à nous, mais il ne faut point y attacher le sens propre du mot. Les mers lunaires sont maintenant regardées comme des plaines, tandis que les parties les plus brillantes sont principalement des régions montagneuses. On a donné aux mers des dénominations particulières qui rendent plus facile une description

détaillée de la surface de la Lune, description qui sortirait du reste du cadre de cet ouvrage.

Si, au lieu d'observer la Lune à l'œil nu, on emploie un télescope d'une puissance suffisante, on aperçoit principalement dans les parties les plus lumineuses du disque lunaire une multitude prodigieuse de petites taches de forme annulaire, ronde ou ovale, qui en parsèment toute la surface. Pendant la pleine Lune, les contours de ces points lumineux sont peu arrêtés, mais il est aisé de voir que cela vient de la position de l'hémisphère visible, dont toutes les parties reçoivent en plein les rayons du Soleil, et qui pour nous se trouvent ainsi en pleine lumière.

Qu'on choisisse, au contraire, pour l'instant de l'observation, l'époque du premier ou du dernier quartier. La surface de la partie éclairée de la Lune paraîtra criblée alors d'une multitude de cavités, entourées d'un rempart circulaire qui projette son ombre à l'opposé du Soleil, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur de la cavité même. Bien plus, sur toute la ligne de séparation de la lumière et de l'ombre, l'intérieur des cavités annulaires semble tout à fait noire, tandis que des points lumineux détachés de la portion éclairée de la Lune montrent çà et là autant de sommités que n'ont point encore abandonnées les rayons solaires.

Les dimensions de ces cavités sont très-variées. Les unes paraissent comme de petits trous dont le sol est criblé. Les autres sont comme de vastes cirques, ou enceintes circulaires renfermant quelquefois, à leur intérieur et sur leurs bords, des cavités d'une dimension beaucoup moindre.

Ce premier coup d'œil jeté, à l'aide d'une lunette, sur le disque de la Lune, démontre avec une pleine évidence que le sol lunaire est couvert d'aspérités et de dépressions. Ces aspérités ne sont autre chose que les montagnes de la Lune.

Continuons notre exploration.

Nous avons vu que la forme des accidents du sol est tantôt circulaire, tantôt ovale. Y a-t-il une réelle différence entre ces deux aspects? Non, comme nous pourrons aisément nous en convaincre.

Remarquons cette circonstance. La forme exactement cir-

culaire appartient à toutes les cavités, à toutes les enceintes situées dans les régions centrales du disque. Quand on examine celles qui s'éloignent du centre pour se rapprocher peu

Fig. 85. Forme circulaire des montagnes de la Lune.

à peu des bords, on voit que leur forme devient insensiblement ovale ou elliptique, et l'ovale est d'autant plus allongé que la cavité qu'on examine est plus rapprochée du bord, quelle

que soit d'ailleurs la direction qu'on ait choisie pour faire cet examen. En outre, le plus grand diamètre de chaque ellipse est toujours parallèle à la portion d'arc de cercle du bord lunaire, qu'on obtient en joignant le centre du disque au centre de la cavité considérée.

La plus simple réflexion sur ces circonstances singulières nous oblige à reconnaître que la forme réelle de chaque cavité, de chaque enceinte, est la forme circulaire. L'apparence elliptique n'est due qu'à un effet de perspective, provenant de ce que chaque cercle se trouve tracé sur les diverses parties d'une moitié de sphère. Les portions de surface qui se trouvent en face de notre rayon visuel, perpendiculairement à sa direction, nous apparaissent non déformées; les autres, au contraire, sont vues obliquement; et leur déformation est d'autant plus considérable qu'elles appartiennent à des régions vues sous une obliquité plus grande.

Du reste, quand nous parlons ici de cercle et d'ellipse, c'est bien entendu en faisant abstraction des irrégularités particulières.

Supposons maintenant que nous ayons observé la Lune à l'époque précise du premier quartier. Le lendemain et les jours suivants, si le ciel le permet, continuons notre examen.

Nous verrons la lumière envahir progressivement les régions orientales du disque, et de nouvelles aspérités peu à peu apparaître, dont les sommets seuls étaient d'abord éclairés par le Soleil. Rien n'est plus curieux que de voir, au sein de l'ombre, se dessiner d'abord la paroi intérieure d'une cavité nouvelle, sous forme de croissant; puis peu à peu la lumière grandir, pénétrer au fond de la coupe, et en éclairer tout le contour. D'autres fois c'est un point lumineux isolé dont le sommet brille, tandis que la base de l'éminence est tout entière encore plongée dans la nuit.

A mesure que la Lune suit ainsi son cours, et que sa phase éclairée s'agrandit, on voit, comme on devait s'y attendre, les ombres des montagnes diminuer d'étendue; le fond des plaines s'éclairer d'une lumière plus vive, et la structure de notre satellite se déployer devant nos yeux dans tous ses détails.

On a donné aux cavités lunaires de petites et de moyennes dimensions, le nom de *cratères* ou de *volcans*, à celles qui affectent des dimensions plus considérables, celui de *cirques*, et les montagnes isolées, de forme pyramidale ou conique, sont des *pics* ou *pitons*.

Les plus importantes des montagnes de la Lune ont reçu des dénominations particulières empruntées aux noms des savants les plus illustres de l'antiquité et des temps modernes. Quant aux appellations générales dont il vient d'être question, elles sont justifiées par le caractère éminemment volcanique que tous les astronomes reconnaissent aux montagnes lunaires.

Les dimensions de la plupart des montagnes de la Lune sont considérables; leurs hauteurs au-dessus du sol environnant ne sont pas moindres. Voici quelques nombres qui feront foi de cette assertion.

Le diamètre de Schickardt, immense cirque situé vers le bord S. E. de la Lune, est évalué à 64 lieues, 256 kilomètres, ce qui donne aux remparts qui entourent son enceinte un développement de 800 kilomètres, et à l'enceinte elle-même une surface de plus de 51 000 kilomètres carrés : c'est la 760e partie de la superficie totale de la Lune, la 11e partie du sol de notre France

Clavius, grand cirque irrégulier qu'on aperçoit un peu au midi de Tycho, et Grimaldi viennent ensuite, le premier avec un diamètre de 57 lieues, le second mesurant 56 lieues de largeur.

Citons encore, parmi les montagnes annulaires, Ptolémée, Hipparque, Platon, Copernic et Tycho; les diamètres de ces grands cirques sont respectivement de 46, de 35, de 24 et de 22 lieues. Plus de trente autres cirques offrent des diamètres supérieurs à 80 kilomètres ou à 20 lieues.

Voici maintenant pour les hauteurs :

C'est dans le voisinage du pôle austral que se dressent les sommets les plus élevés des montagnes lunaires. Deux pics, appartenant aux monts Dœrfel et Leibnitz, atteignent une hauteur de 7600 mètres, de beaucoup supérieure, comme on voit, à celle de notre mont Blanc (4813 mètres). Du sommet

de l'une de ces montagnes, l'œil embrasserait un horizon de plus de 80 kilomètres de rayon, distance très-grande sur un globe dont la courbure est aussi prononcée.

Quatre autres montagnes dépassent 6000 mètres de hau-

Fig. 86. Copernic.

teur. L'un des pics qui s'élèvent à l'ouest de l'enceinte de Clavius mesure 7090 mètres au-dessus du fond d'un cratère situé dans un immense cirque. La montagne annulaire de Newton, voisine du pôle austral, est bordée de rem-

parts qui dominent le fond du cratère de 7264 mètres : c'est la hauteur de la plus haute cime des Andes. « L'excavation du cratère de Newton est telle, dit Humboldt, que jamais le fond n'en est éclairé ni par la Terre ni par le Soleil, » circonstance qui tient aussi à sa position extrême sur le disque de la Lune. Enfin les monts Casatus et Curtius s'élèvent encore à des hauteurs de 6956 et de 6769 mètres.

Dans les régions boréales, on trouve aussi des hauteurs considérables : Calippus un des pics de la chaîne du Caucase, et Huygens, dans les Apennins, atteignent respectivement 6216 et 5550 mètres de hauteur. La crête de cette dernière chaîne est bordée, sur un de ses côtés, de précipices d'une effrayante profondeur et les pics dont elle est formée vont projeter leurs ombres à une distance de plus de 130 kilomètres.

Les montagnes en forme de dômes ou de pyramides, isolées au centre des cirques ou des cratères, sont généralement moins élevées que les sommets de leurs enceintes. Mais si l'on mesure leurs hauteurs à partir du niveau du sol inférieur, on trouve encore des sommités qui dépassent les plus hautes montagnes de notre Europe : le piton du cratère de Tycho a 5000 mètres de hauteur, et celui d'Ératosthène, à l'extrémité de la chaîne des Apennins, s'élève de 4800 mètres au-dessus du fond du cirque. Beer et Mædler ont mesuré 39 sommets, dont l'altitude est supérieure à celle du mont Blanc, et, comme nous venons de le voir, 6 dépassent 6000 mètres, c'est-à-dire rivalisent avec les plus hautes cimes des Cordillères des Andes.

A la vérité, les mesures des montagnes lunaires ne peuvent être comparées rigoureusement avec celles des montagnes terrestres. Celles-ci sont toutes comptées au-dessus d'un niveau commun, c'est-à-dire au-dessus de la surface de l'Océan. Une telle surface de repère n'existant pas sur la Lune[1], les hauteurs y sont comptées au-dessus du sol des plaines environnantes. Quand il s'agit des cratères, la hauteur est ordinai-

1. Les grandes plaines appelées mers paraissent en général d'un niveau *inférieur à celui des* vallées qui s'étendent entre les cratères et les

rement plus considérable au-dessus du fond de l'enceinte qu'au-dessus du niveau extérieur, et l'on a souvent mesuré l'une et l'autre de ces altitudes.

Quoi qu'il en soit, il est certain que, toutes proportions gardées, les aspérités du sol de la Lune sont beaucoup plus considérables que celles de notre planète. Les monts Dœrfel et Leibnitz sont, il est vrai, inférieurs de 1200 mètres environ au fameux Gaourisankar de l'Himalaya. Mais, tandis que ce géant des montagnes terrestres ne dépasse le rayon de la planète que de sa 720e partie, les monts Leibnitz et Dœrfel ont une hauteur égale à la 229e partie du rayon lunaire. C'est relativement plus du triple.

La Lune n'a pas d'atmosphère.

Ce fait semble démontré par les occultations d'étoiles. Lorsque, par le mouvement propre de la Lune à travers les constellations, un des points lumineux de la voûte étoilée vient à passer derrière le bord obscur du disque lunaire, il s'éteint soudainement, sans qu'aucune diminution graduelle de sa lumière accuse l'interposition d'une enveloppe gazeuse. Ce fait s'observe pour les plus petites comme pour les plus grandes étoiles, au milieu des éclipses de Lune, alors que l'atmosphère terrestre n'est plus illuminée par les rayons de notre satellite.

Si d'ailleurs une atmosphère enveloppait le sphéroïde lunaire, quelque faible que fût sa densité, elle serait réfringente, c'est-à-dire qu'une étoile, après son immersion réelle derrière le disque, resterait visible encore un instant. De même, elle redeviendrait visible un peu avant sa sortie ou son émersion. De sorte que la durée du phénomène de l'occultation serait, pour cette double raison, moindre que la durée assignée par le calcul et déduite de la connaissance précise et mathématique du mouvement de l'astre. Or, rien de pareil n'a pu être constaté. Il résulte de là que, si l'atmosphère de

cirques des régions montagneuses. Leur sol est d'ailleurs plus uni, de sorte qu'il pourrait servir de niveau commun pour la mesure des hauteurs; mais nous ne sachions pas qu'on ait déterminé avec quelque précision la différence de niveau des deux régions.

la Lune existe, sa densité est moindre, on l'a calculé, que la 2000e partie de la densité de l'atmosphère terrestre. Elle est plus rare que le vide qui subsiste, après une manœuvre aussi complète que possible, sous le récipient des machines pneumatiques les plus perfectionnées.

Quelques personnes ont émis l'opinion que l'atmosphère de la Lune est confinée au fond des plaines les plus basses et des cratères les plus profonds. Rien ne prouve ni ne contredit cette hypothèse. Ce qu'il y a de certain, c'est qu'il ne se forme point de vapeurs à la surface de la Lune, c'est qu'aucune image n'y ternit jamais la pureté de son ciel : des nuages même de faibles dimensions seraient aisément aperçus de la Terre.

Les paysages lunaires ont donc un aspect tout particulier. Là, les ombres ont partout la même intensité, aux premiers comme aux derniers plans. Tout au plus, la crudité des tons brillants et lumineux qui se détachent sur un ciel presque noir, sur des ombres noires aussi, y est-elle tempérée par les reflets, d'ailleurs fort nombreux dans un sol aussi accidenté. Là, pas de perspective aérienne; point de ces jeux de lumière, de ces teintes vaporeuses qui donnent aux paysages terrestres tant de charme et de douceur. La réfraction n'y décompose pas la lumière blanche en sept couleurs et en mille nuances variées, l'arc-en-ciel et les phénomènes du même genre sont inconnus à la surface de la Lune. Mais en revanche, les étoiles et les autres astres brillent en plein jour dans la voûte céleste.

L'absence d'air à la surface de la Lune implique l'absence d'eau. S'il existait des lacs, des mers, ou simplement des rivières, les liquides qui formeraient ces réservoirs ou ces courants, se réduiraient spontanément en vapeur, par le fait seul qu'ils ne seraient point maintenus par une pression atmosphérique. Mais la chaleur solaire agissant plus énergiquement encore, il en résulterait une enveloppe gazeuse, des nuages épais de vapeur. Un nuage de 200 mètres de diamètre serait aisément visible. Or, nous venons de le dire plus haut, jamais aucune tache mobile n'a été observée sur le disque de la Lune.

Fig. 87. Paysage lunaire. Vue intérieure d'un cirque, d'après Nasmyth.

Point d'air et point d'eau! C'est l'absence forcée des vents et des courants, c'est l'immobilité partout, dans le ciel comme sur le sol. Tout au plus, sous l'influence des alternatives de chaleur et de froid, la désagrégation des matières et la rupture d'équilibre des corps pesants entraînant la chute de débris de roches, rompent la monotonie d'une immobilité et d'un silence éternels. Car le son, ne pouvant s'y propager par aucun milieu aérien, se transmet tout au plus au contact, par les vibrations des molécules solides. Pour un habitant de la Terre, l'astre des nuits n'est donc, selon l'expression d'Humboldt, qu'un désert silencieux et muet.

CHAPITRE V.

LES ÉCLIPSES.

I

ÉCLIPSES DE SOLEIL ET DE LUNE. — CAUSES DE CES PHÉNOMÈNES. — CONDITIONS GÉNÉRALES DE RÉALISATION DES ÉCLIPSES; ELLES N'ONT LIEU QU'AUX ÉPOQUES DES SYZYGIES. — LA LUNE DOIT ÊTRE VOISINE DE L'UN DE SES NŒUDS POUR QU'IL Y AIT ÉCLIPSE. — IL NE PEUT PAS Y AVOIR ECLIPSE DANS TOUTES LES SYZYGIES.

Lorsque les mouvements de la Lune et de la Terre amènent ces deux astres dans une position telle, que leurs centres sont en ligne droite avec le centre du Soleil, le phénomène qui résulte de cette situation toute particulière des trois corps célestes, est ce qu'on nomme une *Éclipse*. Si c'est la Lune qui occupe la station intermédiaire, elle tourne vers la Terre son hémisphère obscur; l'interposition de ce disque noir devant le disque lumineux du Soleil, empêche les rayons d'arriver jusqu'à nous : il y a alors *Éclipse de Soleil*. Si c'est au contraire la Terre même, qui se trouve entre le Soleil et la Lune, notre globe remplit pour cette dernière la fonction d'écran. L'hémisphère lunaire, tourné vers nous, ne reçoit plus les rayons du Soleil, et son disque, momentanément obscurci, nous donne une *Éclipse de Lune*.

Mais cette manière d'envisager le phénomène est relative *à la Terre* seule. En réalité, dans ces deux circonstances, il

y a simultanément éclipse pour chacun des trois astres en question, comme il est aisé de s'en rendre compte.

Qu'arrive-t-il, en effet, dans le premier cas?

Pour un observateur qui serait situé dans le Soleil, la Lune paraîtrait projetée sur la Terre, dont elle masquerait une partie de la surface. Il est vrai que les deux disques superposés, lumineux tous deux, ne laisseraient voir aucun obscurcissement sur la surface du globe terrestre. Pour un observateur placé dans l'hémisphère obscur de la Lune, il y aura éclipse de Terre, c'est-à-dire obscurcissement successif de toutes les régions de notre globe, pour lesquelles a lieu l'éclipse de Soleil. Enfin, dans le cas d'une éclipse de Lune pour la Terre, il y a aussi éclipse de Lune pour le Soleil, tandis que c'est une éclipse de Soleil pour l'hémisphère lunaire tourné vers nous.

Les éclipses peuvent être encore envisagées et expliquées d'une autre façon.

La Terre et la Lune sont deux corps sphériques, opaques, dont une moitié est constamment éclairée par les rayons du Soleil, tandis que l'autre moitié est dans l'ombre. Le corps éclairant est lui-même une sphère de dimensions beaucoup plus considérables. Non-seulement la Lune et la Terre ont toujours un de leurs hémisphères obscurs; mais encore chacun de ces deux astres projette derrière lui, c'est-à-dire à l'opposé du Soleil, une ombre en forme de cône, dont la longueur et l'épaisseur dépendent et de la distance du corps éclairant et du diamètre du corps éclairé.

Ce cône d'ombre contient tous les points de l'espace qui, à cause de l'interposition du corps opaque, ne reçoivent du Soleil aucun rayon de lumière. Au delà du sommet de ce cône d'ombre pure et dans son prolongement, se trouvent tous les points de l'espace qui voient une partie du Soleil, sous la forme d'un anneau lumineux débordant le disque obscur du corps opaque.

Enfin, ces deux régions sont elles-mêmes environnées de ce qu'on nomme la pénombre. Tout point de l'espace situé dans la pénombre, ne reçoit de lumière que d'une partie du Soleil, dont le disque lumineux paraît échancré par le disque

obscur du corps opaque. L'obscurcissement produit par la pénombre est d'ailleurs d'autant plus intense, que le point dont il s'agit est plus voisin de l'ombre pure.

La Lune et la Terre, dans leurs mouvements, emportent avec elles leurs cônes d'ombre et de pénombre, et c'est quand l'une projette sur l'autre son propre cône d'ombre que se produisent les phénomènes des éclipses.

Maintenant, si l'on jette les yeux sur la figure 89 on verra tout de suite qu'une éclipse de Soleil a toujours lieu au moment de la Lune nouvelle, et qu'une éclipse de Lune n'est possible, au contraire, qu'à l'époque où notre satellite est en opposition, c'est-à-dire pendant la pleine Lune. Dans toutes les autres positions de notre satellite, c'est-à-dire pour toutes les autres phases d'une lunaison, le cône d'ombre lunaire se projette dans l'espace sans atteindre la Terre, et le cône d'ombre terrestre prolongé ne rencontre pas non plus la Lune.

C'est ce que constatent toutes les observations d'éclipses.

Maintenant, est-ce à dire qu'il y ait éclipse à chaque pleine Lune, à chaque Lune nouvelle? Non. Et la raison en est aisée à comprendre.

Il y aurait réellement deux éclipses dans chaque mois lunaire, l'une de Soleil, l'autre de Lune, si l'orbite de la Terre autour du Soleil et l'orbite de la Lune autour de la Terre se trouvaient décrites dans le même plan. Alors, à l'opposition comme à la conjonction, les centres des trois astres seraient en ligne droite.

Mais on a vu qu'il n'en est pas ainsi dans la réalité, que l'orbite de la Lune est inclinée sur le plan de l'écliptique, de sorte qu'il arrive le plus souvent, à la nouvelle Lune, que notre satellite projette son cône d'ombre au-dessus ou au-dessous de la Terre. De même à l'époque de l'opposition, la Lune, par sa situation en dehors du plan de l'écliptique, passe tantôt au-dessus, tantôt au-dessous du cône d'ombre terrestre. Toutes les fois qu'il en est ainsi, il n'y a pas d'éclipse.

Examinons donc quelles conditions sont nécessaires pour qu'une éclipse de Soleil ou de Lune soit possible.

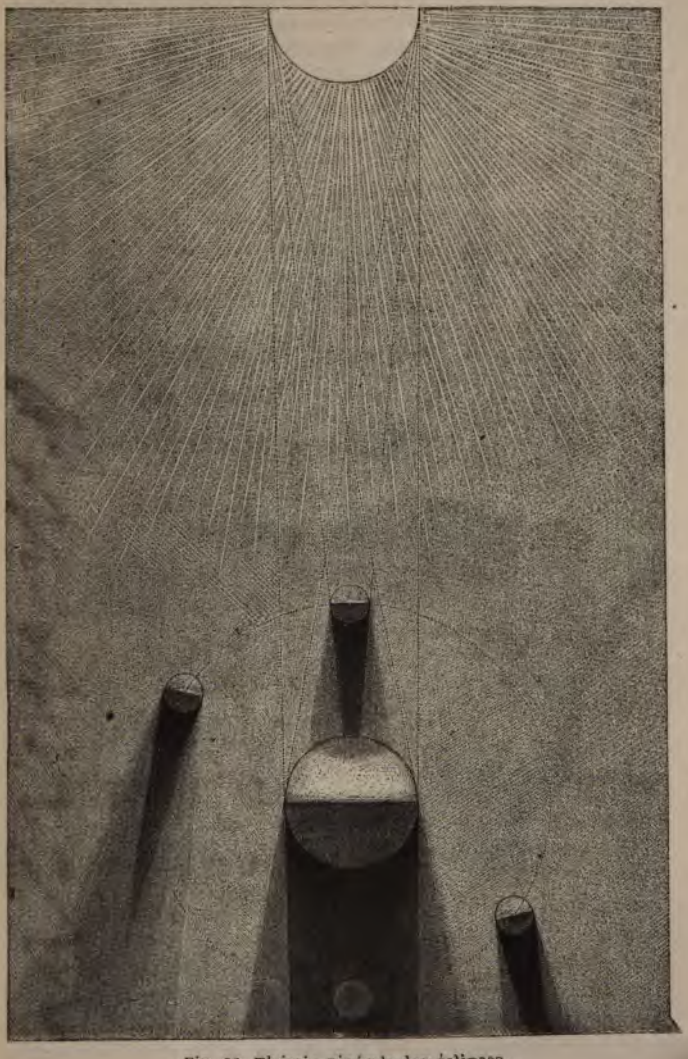


Fig. 88. Théorie générale des éclipses.

L'orbite de la Lune fait avec le plan de l'écliptique un angle à peu près constant. Il en résulte qu'une moitié de la révolution mensuelle s'effectue au-dessus de ce dernier plan, tandis que l'autre moitié s'accomplit au-dessous. La Lune passe donc par l'écliptique deux fois, à chaque lunaison, en deux points qui, nous l'avons vu plus haut, se nomment ses nœuds. Si les nœuds restaient invariables dans les positions qu'ils occupent relativement au Soleil, il arriverait, de deux choses l'une, ou qu'il n'y aurait jamais d'éclipses, ou qu'il se présenterait deux éclipses à chaque mois lunaire.

Mais nous savons aussi que les nœuds se déplacent d'une lunaison à l'autre, et il est aisé de comprendre que l'éclipse aura lieu toutes les fois qu'ils coïncideront avec les phases de pleine et de nouvelle Lune, avec les syzygies. Cette coïncidence n'a pas besoin d'être parfaite : il suffit que les nœuds soient assez voisins de ces phases, pour que la largeur des cônes d'ombres rende possible l'immersion soit de la Lune, soit de la Terre.

Telle est la première condition générale de possibilité de ces phénomènes. Il en est d'autres encore qui sont propres à chaque genre d'éclipse, et dont nous allons dire un mot, en décrivant séparément les éclipses de Soleil et les éclipses de Lune.

II

LES ÉCLIPSES DE SOLEIL. — DISTINCTION DES ÉCLIPSES DE SOLEIL EN TOTALES, ANNULAIRES ET PARTIELLES. — CONDITIONS PARTICULIÈRES DES ÉCLIPSES DE SOLEIL. — TRACES DES CÔNES D'OMBRE ET DE PÉNOMBRE A LA SURFACE DE LA TERRE. — MARCHE ET DURÉE D'UNE ÉCLIPSE TOTALE. — PHÉNOMÈNES OBSERVÉS PENDANT LES ÉCLIPSES TOTALES DE SOLEIL ; COURONNE LUMINEUSE ET PROTUBÉRANCES ROUGEATRES. — INFLUENCE SUR LES VÉGÉTAUX ET LES ANIMAUX.

On distingue trois espèces d'éclipses solaires. Les unes sont *totales :* le disque obscur de la Lune recouvre alors entièrement la surface apparente de l'astre radieux. Les autres *sont partielles : c'est* quand une portion seulement, plus ou

moins grande d'ailleurs, du disque solaire est échancrée. Enfin, il y a des éclipses de Soleil *annulaires :* ces éclipses ont lieu, quand le disque de la Lune n'est pas assez grand pour recouvrir entièrement celui du Soleil, et qu'un anneau lumineux d'une certaine largeur déborde, tout autour, l'hémisphère obscur de la Lune.

La Lune étant considérablement plus petite que le Soleil, on comprend que c'est sa faible distance relative qui nous montre son disque avec des dimensions apparentes égales à celles du dique solaire, et même plus grandes. Cette distance varie en raison de la forme elliptique de son orbite, et c'est pourquoi les dimensions du disque lunaire se trouvent tantôt plus grandes, tantôt plus petites que celles du Soleil, quelquefois égales.

Cela revient à dire que le cône d'ombre pure projeté par la nouvelle Lune vers la Terre, atteint ou n'atteint pas la surface de notre globe. S'il atteint cette surface, il y a éclipse totale pour tous les points de la Terre qui s'y trouvent plongés; éclipses partielles pour toutes les régions atteintes seulement par la pénombre. C'est ce que fait voir la figure suivante :

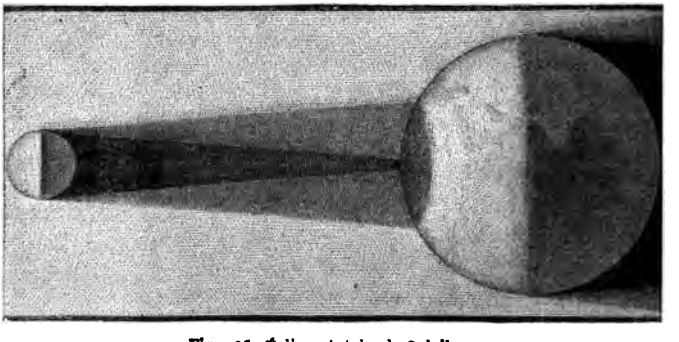


Fig. 89. Éclipse totale de Soleil.

Le cône d'ombre pure de la Lune n'atteint-il pas la Terre, il y a éclipse annulaire pour tous les points que rencontre le *prolongement de ce cône*; éclipse partielle pour ceux qui se

trouvent seulement dans la pénombre. C'est le cas représenté par cette autre figure :

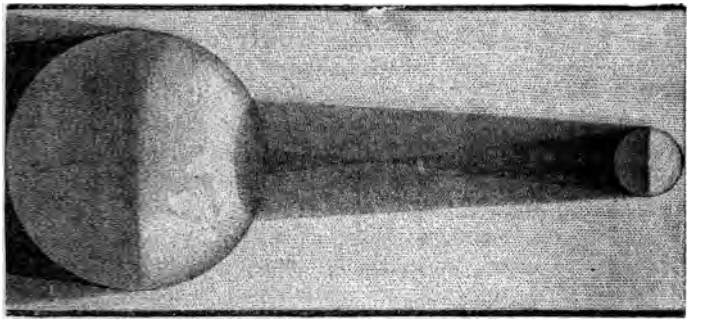


Fig. 90. Éclipse annulaire de Soleil.

Ainsi, les conditions de possibilité des éclipses totales de Soleil sont les suivantes :

La Lune doit être en conjonction, c'est-à-dire nouvelle;

Elle doit être en même temps dans le voisinage de l'un de ses nœuds;

Enfin, sa distance à la Terre doit être moindre que la longueur du cône d'ombre pure projeté par elle dans l'espace[1]

Les mêmes conditions, sauf la dernière, sont celles des éclipses annulaires de Soleil.

Les éclipses de Soleil ne sont visibles que pour une portion limitée de la surface de la Terre. Il est d'abord bien

1. Le cône d'ombre projeté par la Lune dans l'espace a une longueur qui varie entre 57 et 59 rayons de la Terre. D'autre part, on a vu que la distance entre les centres de la Terre et de la Lune varie aussi entre 57 et 64 rayons terrestres. Du centre de la Lune au point le plus voisin de notre globe, il y a donc de 56 à 63 de ces rayons. Ainsi le cône d'ombre pure peut atteindre la surface de la Terre, dans toute l'étendue de l'hémisphère tourné vers la Lune : de là, éclipse totale. S'il n'atteint pas cette surface, l'éclipse est seulement annulaire. Il peut arriver encore que la pénombre seule rencontre la Terre, le cône d'ombre et son prolongement passant alors au-dessus de notre globe. L'éclipse de Soleil peut donc encore n'être que partielle, quel que soit le lieu que l'on considère.

évident que le phénomène est complétement invisible dans tous les lieux de la Terre pour lesquels le Soleil reste couché pendant la durée entière de l'éclipse. Mais cela n'est pas moins vrai pour beaucoup d'autres points de la surface de la Terre, et il est aisé d'en comprendre la raison.

La Lune, en effet, a un diamètre près de quatre fois inférieur à celui de la Terre. Son cône d'ombre, dans sa plus grande largeur, est beaucoup trop étroit pour que la Terre puisse y être entièrement plongée; et vers les extrémités, ses dimensions sont assez petites pour ne produire sur la surface de notre globe qu'un petit cercle noir de 22 lieues au plus de largeur. Une éclipse de Soleil n'est donc totale, à un même instant physique, que pour un cercle de cette dimension. Seulement les mouvements combinés de la rotation terrestre et de la Lune font que le cône d'ombre se promène en réalité sur une assez grande étendue de la surface de la Terre, en décrivant une courbe obscure sur cette surface.

Les mêmes observations s'appliquent à la pénombre. Nous avons dessiné nous-même une carte reproduisant toutes les circonstances d'une éclipse totale, de celle qui a eu lieu le 18 juillet 1860, d'après les indications de la *Connaissance des temps* et du *Nautical almanach*.

Une courbe en forme de 8 marque les points du globe où l'éclipse a commencé ou fini au lever ou au coucher du Soleil. Une autre ligne, qui coupe la première en deux parties, passe par les lieux de la Terre qui n'ont vu que la moitié de l'éclipse, parce que le milieu du phénomène coïncidait pour eux, soit avec le lever, soit avec le coucher de l'astre radieux. Un trait plus noir et d'une certaine largeur marque les points où l'éclipse était totale et centrale. Parallèlement à ce trait, d'autres lignes qui ne sont pas marquées sur le dessin indiqueraient tous les points où l'éclipse partielle s'est montrée sous des phases[1] de plus en plus petites, jusqu'à

1. Les astronomes comptaient autrefois la largeur des phases par le nombre de *doigts* : le doigt est la 12e partie du diamètre du disque solaire. L'éclipse est de trois doigts, de six doigts, quand le disque obscur de la Lune, par son échancrure, pénètre jusqu'au 3/12, aux 6/12, *u si l'on* veut au quart, à la moitié du diamètre du Soleil.

celle qui limite le phénomène, en passant par tous les lieux où l'éclipse se réduisait à un simple contact des disques de la Lune et du Soleil.

La ligne noire de l'éclipse centrale n'est en réalité que la

Fig. 91. Éclipse totale du 18 juillet 1860. Marche de l'ombre et de la pénombre à la surface de la Terre.

trace de l'ombre que la Lune a promenée sur la surface de la Terre, comme la figure totale représente la marche de la pénombre sur la même surface.

La *durée d'une éclipse* de Soleil est variable. Mais il faut

distinguer évidemment entre la durée totale du phénomène pour la Terre entière, et la durée pour un point donné du globe. Voici, d'après les calculs de Dionis du Séjour, rapportés par Arago, quelques nombres relatifs à cette dernière durée :

Pour la plus grande durée possible d'une éclipse totale...	le long de l'Equateur..	$44^h\ 29^m\ 44^s$
	sous la latitude de Paris	$3^h\ 26^m\ 32^s$
Pour la plus grande durée possible de la phase annulaire,	le long de l'Équateur..	$12^m\ 45^s$
	sous la latitude de Paris	$9^m\ 56^s$
Pour la plus grande durée possible de l'obscurité totale,	le long de l'Équateur..	$7^m\ 58^s$
	sous la latitude de Paris	$6^m\ 10^s$

Les éclipses totales de Soleil sont, au point de vue des particularités physiques qu'elles offrent à l'observation, des phénomènes très-remarquables. Décrivons sommairement quelques-unes des principales.

Quelques instants avant la totalité, c'est-à-dire avant le

Fig. 92. Éclipse de juillet 1860. Gloire et auréole.

moment où le disque du Soleil est complétement recouvert, pendant toute sa durée et même un peu après, une couronne lumineuse entoure le disque obscur de la Lune, et projette en tous sens des rayons de lumière, séparés par des inter-

valles plus obscurs en forme de *gloire*. Dans plusieurs éclipses totales, indépendamment de cette auréole régulière, on a remarqué des aigrettes ou appendices irrégulièrement placés sur son contour, et dont les rayons avaient des directions plus ou moins excentriques. La couleur de la couronne lumineuse qui entoure immédiatement le disque obscur a semblé, tantôt d'un blanc de perle ou argenté, tantôt jaunâtre et même rouge.

L'explication généralement adoptée de cette auréole et de la *gloire* qui l'environne, est que le premier de ces phénomènes accuse l'existence d'une atmosphère solaire, enveloppant l'astre radieux à une hauteur d'environ un dixième du diamètre de l'astre, c'est-à-dire de 35 à 40 mille lieues. Quant aux rayons formant *la gloire*, on les regarde comme un phénomène purement optique, dû à la diffraction de la lumière sur les aspérités du contour de la Lune.

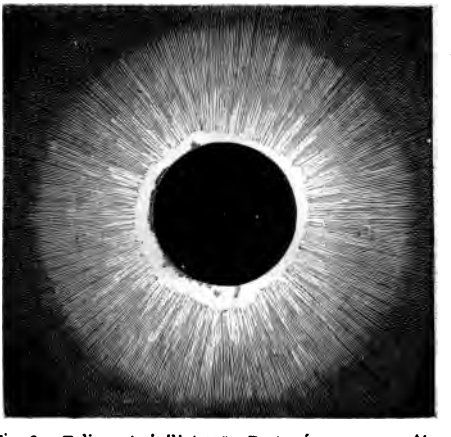


Fig. 93. Eclipse de juillet 1851. Protubérances rougeâtres.

Venons maintenant à un phénomène d'un grand intérêt signalé pour la première fois dans l'éclipse totale de juillet 1842, et observé depuis dans plusieurs éclipses.

Des protubérances de formes diverses, et d'une couleur

rougeâtre, se sont montrées sur le contour du limbe obscur de la Lune, pendant la période de la totalité. Les unes affectaient la forme de pics dentelés pareils à des montagnes; d'autres s'élevaient normalement au disque pour se recourber à angle droit; quelques-unes enfin ont paru complétement détachées du contour du disque, semblables à des nuages flottants. Leur teinte était tantôt d'un rouge vif, tantôt rosacée et nuancée en quelques points d'un bleu verdâtre. Arago inclinait à regarder cette dernière couleur comme un simple effet de constraste.

Fig. 94. Éclipse annulaire de mai 1836. Dentelures de Baily.

Il paraît prouvé que ces protubérances sont des objets réels, qui appartiennent au globe solaire et non pas à la Lune, comme on l'avait d'abord supposé. Mais il n'est pas moins certain qu'elles ne sont point adhérentes au corps même de l'astre, puisqu'on en a observé plusieurs se détachant nettement du contour du disque. Ce sont sans doute des nuages immenses flottant dans l'atmosphère dont la couronne lumineuse a révélé l'existence. Leurs dimensions sont quelquefois considérables. Warren de la Rue a mesuré la

hauteur d'une protubérance en forme de pic qui s'élevait verticalement à près de 18 000 lieues.

L'éclipse annulaire du 15 mai 1836 a offert un phénomène curieux. Au moment où le disque sombre de la Lune allait toucher le bord intérieur du Soleil, la portion de l'anneau lumineux voisine du point de contact se divisa en un grand nombre de points lumineux détachés (fig. 94). On nomme ces points *dentelures* ou *chapelet* de Baily, du nom de l'astronome qui les observa.

Pendant la durée entière des phases d'une éclipse totale, l'intensité de l'illumination de l'atmosphère va naturellement en diminuant, depuis l'origine jusqu'au commencement de la totalité, pour reprendre ensuite graduellement son intensité primitive. L'obscurité, pendant la phase d'obscuration totale, est cependant loin d'être complète. Aussi ne voit-on guère alors que les étoiles les plus brillantes, rarement des étoiles de seconde grandeur. Les planètes Vénus et Mercure, Jupiter, Mars et Saturne ont été vues pareillement.

Les objets terrestres prennent peu à peu une teinte livide : ils se colorent de diverses nuances, parmi lesquelles le vert olive prédomine. Le jaune orangé, le rouge vineux, des teintes cuivrées donnent aux paysages une physionomie singulière, qui, jointe à un abaissement très-sensible de température, contribue à produire une impression profonde sur tous les êtres animés.

Arago raconte en ces termes quelle fut l'attitude d'une population tout entière en présence du magnifique et solennel spectacle offert par l'éclipse totale du 8 juillet 1842.

« A Perpignan, les personnes gravement malades étaient seules restées dans leurs chambres. La population couvrait, dès le grand matin, les terrasses, les remparts de la ville, tous les monticules extérieurs, d'où l'on pouvait espérer de voir le lever du Soleil. A la citadelle, nous avions sous les yeux, outre des groupes nombreux de citoyens établis sur les glacis, les soldats qui, dans une vaste cour, aliaient être passés en revue.

« L'heure du commencement de l'éclipse approchait. Près de vingt mille personnes examinaient, des vers enfumés à la

main, le globe radieux se projetant sur un ciel d'azur. A peine, armés de nos fortes lunettes, commencions-nous à apercevoir la petite échancrure du bord occidental du Soleil, qu'un cri immense, mélange de vingt mille cris différents, vint nous avertir que nous avions devancé seulement de quelques secondes, l'observation faite à l'œil nu par vingt mille astronomes improvisés, dont c'était le coup d'essai. Une vive curiosité, l'émulation, le désir de ne pas être prévenu semblaient avoir eu le privilége de donner à la vue naturelle une pénétration, une puissance inusitées.

« Entre ce moment et ceux qui précédèrent de très-près la disparition totale de l'astre, nous ne remarquâmes rien dans la contenance de tant de spectateurs qui mérite d'être rapporté. Mais, lorsque le Soleil, réduit à un étroit filet, commença à ne plus jeter sur notre horizon qu'une lumière très-affaiblie, une sorte d'inquiétude s'empara de tout le monde; chacun éprouvait le besoin de communiquer ses impressions à ceux dont il était entouré. De là, un mugissement sourd, semblable à celui d'une mer lointaine après la tempête. La rumeur devenait de plus en plus forte, à mesure que le croissant solaire s'amincissait; le croissant disparut enfin, les ténèbres succédèrent subitement à la clarté, et un silence absolu marqua cette phase de l'éclipse, tout aussi nettement que l'avait fait le pendule de notre horloge astronomique. Le phénomène, dans sa magnificence, venait de triompher de la pétulance de la jeunesse, de la légèreté que certains hommes prennent pour un signe de supériorité, de l'indifférence bruyante dont les soldats font ordinairement profession. Un calme profond régna aussi dans l'air : les oiseaux avaient cessé de chanter.

« Après une attente solennelle d'environ deux minutes, des transports de joie, des applaudissements frénétiques saluèrent, avec le même accord, la même spontanéité, la réapparition des premiers rayons solaires.... »

Les animaux témoignent ordinairement, par des mouvements et des gestes non équivoques, de la sensation instinctive que produit sur eux le phénomène. Les végétaux mêmes subissent une influence. En 1842, les feuilles de cer-

taines plantes se fermèrent. Pendant l'éclipse de juillet 1860, M. Laussedat, qui observait en Algérie, rapporte ce fait : « Les plantes, dit-il, montrèrent combien est rapide l'action de la lumière qu'elles reçoivent comme par une sorte de sens diffusé dans leurs corolles, car, malgré la courte durée de l'obscurité, on vit les daturas, les volubilis, les pavots, les belles-de-nuit, qui s'étaient tenus fermés au Soleil, se rouvrir à demi pendant l'éclipse totale. »

III

ÉCLIPSES DE LUNE. — LES ÉCLIPSES DE LUNE SONT VISIBLES DANS UNE PLUS GRANDE ÉTENDUE DE PAYS QUE CELLES DE SOLEIL. — CONDITIONS PARTICULIÈRES DE POSSIBILITÉ. — ÉCLIPSES PARTIELLES, TOTALES. — MARCHE DU PHÉNOMÈNE ; ENTRÉE DE LA LUNE DANS LA PÉNOMBRE. — COLORATION ROUGEATRE DU DISQUE ÉCLIPSÉ. — PÉRIODES DES ÉCLIPSES ; PÉRIODE DE SAROS. — FRÉQUENCE RELATIVE DES ÉCLIPSES DE SOLEIL ET DE LUNE.

Comme les éclipses de Soleil, les éclipses de Lune peuvent être partielles ou totales. Mais elles ne sont jamais annulaires, le cône d'ombre de la Terre ayant toujours, aux plus grandes distances de notre satellite, des dimensions beaucoup plus considérables que le disque lunaire lui-même.

En outre, une distinction capitale entre les deux phénomènes est celle-ci : tandis qu'une éclipse de Soleil n'est visible que pour une fraction de l'hémisphère terrestre qui voit cet astre sur l'horizon, l'éclipse de Lune est toujours visible de tous les points de la Terre pour lesquels l'astre n'est pas couché. Bien mieux : ce n'est que successivement que l'éclipse de Soleil a lieu aux différentes stations, à mesure que l'ombre et la pénombre de la Lune se promènent sur la surface de notre globe. Au contraire, l'obscurcissement du disque lunaire commence et se termine partout, non pas aux mêmes heures, puisque l'heure varie selon le méridien du lieu de l'observation, mais aux mêmes instants physiques.

La raison de cette différence est toute simple : dans l'éclipse solaire, la surface de l'astre radieux n'est pas réellement obscurcie, mais seulement cachée par le disque obscur de la Lune, de sorte que cette interposition est un effet de perspective variant selon la position respective de l'observateur, de la Lune et du Soleil. L'éclipse lunaire est au contraire produite par une déperdition réelle de lumière de notre satellite, et l'obscurcissement qui en résulte est visible au même instant, partout du moins où le disque de la Lune est au-dessus de l'horizon.

Les éclipses de Lune ne peuvent avoir lieu qu'à l'époque de l'opposition ou de la pleine Lune, pourvu d'ailleurs que la Lune soit à l'un de ses nœuds ou à une faible distance. En définitive, pour que le phénomène ait lieu, il faut que le globe lunaire traverse les cônes d'ombre et de pénombre que la Terre projette dans l'espace, cônes dont l'axe commun coïncide nécessairement avec le plan de l'écliptique.

Si la pénétration dans l'ombre pure est complète, l'éclipse de Lune est totale; elle n'est que partielle, si la Lune ne pénètre qu'en partie dans le cône d'ombre.

Enfin l'éclipse totale est dite centrale, quand la Lune traverse le cône d'ombre dans sa plus grande épaisseur, ce qui exige évidemment que l'instant précis de l'opposition coïncide avec le passage de la Lune par son nœud.

Au début d'une éclipse totale de Lune, on remarque d'abord un affaiblissement marqué de la lumière du disque: à ce moment la Lune entre dans la pénombre. Puis, tout à coup, une petite échancrure se forme, qui peu à peu envahit la partie lumineuse du disque, mais cette échancrure est loin d'être aussi nette que celle des éclipses solaires. La forme en est circulaire[1], mais d'une courbure moins prononcée que celle de la circonférence du disque, circonstance aisée à prévoir et que le calcul confirme, le diamètre de

1. La forme circulaire de l'ombre de la Terre projetée sur la Lune donne une preuve de plus de la rondeur de la Terre, preuve qui n'avait point échappé aux anciens astronomes. On voit ainsi, dans les éclipses de Lune, la silhouette de notre globe dessinée sur la surface de son satellite.

l'ombre de la Terre étant près de trois fois aussi grand que celui de la Lune[1].

La couleur de l'ombre est d'abord celle d'un noir grisâtre, qui ne permet de rien voir de la partie éclipsée; mais, à mesure que l'ombre envahit le disque lunaire, une teinte rouge le recouvre de plus en plus, et les détails des taches principales deviennent visibles. Entre le croissant lumineux et le centre rougeâtre de l'ombre s'étend une bande d'un gris bleu.

Dès que l'éclipse est totale, le rouge devient plus intense et se répand aussitôt sur tout le disque. Selon Beer et Mædler, la teinte bleuâtre est d'un gris sombre, quand on la compare avec la partie de la Lune éclairée par le Soleil; elle semble bleue et plus claire que le rouge, si c'est avec cette dernière qu'on fait la comparaison.

Quelques minutes avant la réapparition de la lumière au bord opposé du disque, la teinte bleuâtre colore légèrement les régions les plus voisines de ce bord; et les phases de l'éclipse se reproduisent en sens inverse, jusqu'à l'entière émersion de la Lune.

Comme on le voit, la Lune ne disparaît pas toujours complétement dans les éclipses totales. La raison de ce fait est dans la réfraction des rayons solaires qui, traversant les couches inférieures de l'atmosphère de la Terre les plus denses, se brisent et projettent jusqu'à la Lune les teintes empourprées de nos soleils couchants.

Il arrive cependant que la Lune devient tout à fait invisible pendant la durée de l'éclipse totale: on cite comme exemples de ce fait les éclipses de 1642 et de 1816. D'autres fois, la visibilité sans être nulle est très-imparfaite : il faut chercher sans doute l'explication de ces circonstances dans l'état particulier de notre atmosphère, sur toute la périphérie terrestre, où le Soleil se lève et se couche au moment de l'éclipse.

Un autre phénomène, qu'on a observé il est vrai fort rare-

1. La largeur moyenne du cône d'ombre terrestre, à la distance où se font les éclipses est de 82′, tandis que le diamètre lunaire n'est que de 31′.

ment, paraît contradictoire avec la théorie géométrique et astronomique des éclipses. Je veux parler de la présence simultanée du Soleil et de la Lune au-dessus de l'horizon, pendant le phénomène. Le premier de ces astres se couchant au moment où l'autre se lève, il semble que la Lune, la Terre et le Soleil ne sont plus en ligne droite. Il n'y a là qu'une apparence due à la réfraction. Le Soleil, déjà sous l'horizon, est relevé par la réfraction et reste visible pour nous. Il en est de même pour la Lune qui n'est pas encore réellement levée, lorsqu'elle nous le semble déjà. On cite les éclipses de 1666, de 1668 et du 19 juillet 1750, comme ayant présenté cette circonstance singulière qui doit d'ailleurs être fréquente.

Nous avons dit que les éclipses de Lune sont visibles au même instant de tous les points de la Terre qui ont l'astre au-dessus de leur horizon pendant la durée du phénomène. Or, à un instant donné, la Lune est vue dans presque toute l'étendue d'un hémisphère terrestre, de sorte que l'éclipse elle-même est visible sur une étendue de pays qui surpasse un hémisphère, sinon dans toutes ses phases, du moins dans une partie. Il n'en est pas de même des éclipses de Soleil qui ne sont visibles dans leur totalité que dans une ligne très-étroite de la surface du globe, et partiellement sur un espace assez considérable, mais moindre toujours qu'un hémisphère entier ainsi que le montre la figure 92.

Quant à la fréquence relative des éclipses de Soleil et de Lune, il est aisé de se rendre compte de ce fait que les éclipses de Soleil sont les plus nombreuses. En effet, pour qu'il y ait éclipse, soit de Soleil, soit de Lune, il faut, nous l'avons vu, que notre satellite traverse le cône circonscrit à la Terre et au Soleil. Or, la section de ce cône où la Lune est en conjonction, étant plus large que la section où cet astre est en opposition, il en résulte que la Lune doit atteindre plus souvent le cône vers la première région que vers la seconde.

Les éclipses de Soleil sont donc plus fréquentes que les éclipses de Lune.

Mais cela n'est vrai que pour la Terre entière. Au contraire, en un lieu donné de la Terre, on observe plus d'*éclipses de Lune* que d'éclipses de Soleil, et la raison en est

dans ce fait que nous venons de constater, à savoir que les régions d'où une éclipse de Lune est visible embrassent plus d'un hémisphère terrestre, tandis que les éclipses de Soleil ne sont visibles que dans une portion limitée d'un hémisphère.

Le nombre total des éclipses, dans une période d'environ 18 ans, est de 70, dont 29 de Lune et 41 de Soleil.

Donnons maintenant une idée des moyens qui peuvent servir à prédire les éclipses, et qui sont basés sur la périodicité de ces phénomènes.

Comme une éclipse ne peut avoir lieu qu'à l'époque de l'une ou l'autre des syzygies, et que deux oppositions et deux conjonctions sont séparées par un intervalle de temps de $29^j.53$, il est déjà certain qu'une éclipse, soit de Lune, soit de Soleil, ne peut se reproduire qu'au bout d'une période de temps égale à un nombre entier de lunaisons, c'est-à-dire à un multiple du nombre $29^j.53$.

De plus, il faut que la latitude de la Lune ne dépasse pas certaines limites que nous avons indiquées, c'est-à-dire qu'elle soit à l'un de ses nœuds ou dans le voisinage, à l'époque même de l'opposition ou de la conjonction. Pour qu'une éclipse se reproduise dans les mêmes circonstances, il est donc aussi nécessaire que le Soleil vienne occuper de nouveau la même position relativement aux nœuds de l'orbite lunaire.

Or le Soleil revient au même nœud après un intervalle de $346^j.62$. Il faudra donc qu'il s'écoule une période égale à un multiple exact du nombre $346^j.62$, pour que le Soleil et la Lune se retrouvent dans des positions identiques à celles qui ont produit l'éclipse donnée.

Toute la question se ramène donc à trouver une période qui soit à la fois un multiple exact du nombre $29^j.53$ et un multiple exact du nombre $346^j.62$. Cette période était connue des anciens Chaldéens sous le nom de Saros. Ils avaient reconnu qu'au bout de 223 lunaisons le Soleil, la Lune et les nœuds de la Lune, se trouvaient ramenés aux mêmes positions relatives. Et, en effet, 223 lunaisons font 6585 jours, et 19 fois le nombre $346^j.62$ font pareillement 6585 jours.

Ainsi, tous les 18 ans environ (18 ans 11 jours) le Soleil, la Lune et les nœuds de l'orbite lunaire occupant à peu de chose près les mêmes positions relatives, il en résulte que les éclipses qui se sont produites dans une première période de 18 ans se reproduisent dans le même ordre pendant la période suivante.

Les astronomes emploient encore cette période pour calculer les éclipses; mais elle ne leur sert que pour une première approximation. Les tables, aujourd'hui si précises, des mouvements de la Lune et du Soleil, fournissent les éléments d'une prédiction beaucoup plus rigoureuse, et permettent d'annoncer les éclipses de Soleil et de Lune et les diverses phases du phénomène, pour un lieu donné, jusqu'à la précision des secondes.

CHAPITRE VI.

LES PLANÈTES.

I

ÉNUMÉRATION DES PLANÈTES. — PLANÈTES INFÉRIEURES ET PLANÈTES SUPÉRIEURES. — CARACTÈRES QUI DISTINGUENT LES PLANÈTES DES ÉTOILES.

Les planètes aujourd'hui connues, sont au nombre de 102, dont voici les noms dans l'ordre de leurs distances croissantes au Soleil :

Mercure.
Vénus.
La Terre.
Mars.
94 petites planètes[1]
Jupiter.
Saturne.
Uranus.
Neptune.

Toutes les orbites de ces planètes s'enveloppent mutuellement, ainsi que le montre la planche 1 (page 23), de sorte qu'en les considérant par rapport à l'orbite de la Terre, deux

1. On découvre fréquemment de nouvelles petites planètes.

d'entre elles, celles de Mercure et de Vénus, sont intérieures; les autres sont extérieures à cette orbite.

C'est pour cette raison qu'on distingue les planètes, la Terre exceptée, en planètes *intérieures* et planètes *extérieures* : on dit aussi *inférieures* et *supérieures*[1].

Nous avons déjà vu que les plans des orbites dans lesquels se meuvent tous ces astres sont faiblement inclinés sur l'écliptique, de sorte que leurs trajectoires sur la voûte céleste, vues de la Terre, s'éloignent peu de la courbe annuelle tracée par le Soleil. Toutes ces trajectoires sont comprises dans une zone, dont la largeur était d'environ 17° avant qu'on connût les petites planètes, et qu'on nomme le *Zodiaque*.

Mercure et Vénus, Mars, Jupiter, Saturne et Uranus apparaissent dans le ciel comme des étoiles, dont l'éclat plus ou moins considérable varie avec la distance, mais sans cesser d'être visibles à l'œil nu. Neptune exige pour être aperçu l'emploi des télescopes. Les petites planètes, beaucoup plus rapprochées de la Terre que Neptune, ne sont pas non plus perceptibles à la vue simple. On les désigne quelquefois sous le nom de *planètes télescopiques*.

Les planètes se distinguent des étoiles par divers caractères dont voici les plus importants :

Elles ne conservent pas, comme celles-ci, les mêmes positions, à peu près invariables, sur la voûte céleste; mais elles parcourent périodiquement les constellations zodiacales avec des vitesses et dans des sens qui varient avec leurs positions relatives à la Terre. En un mot, elles sont toutes affectées de *mouvements propres*.

Examinées avec des lunettes d'un pouvoir grossissant suffisant, toutes les planètes principales et quelques-unes des petites planètes, se présentent sous la forme de disques lumineux d'un diamètre plus ou moins grand, mais appréciable; tandis que les étoiles les plus brillantes ne se montrent jamais que comme des points lumineux dont le

1. Cette ancienne dénomination vient de ce que l'on considérait le Soleil comme le point le plus bas dans le système.

diamètre apparent est trop petit pour pouvoir être mesuré dans les instruments les plus délicats. Quelques-uns des disques planétaires présentent des phases semblables aux phases de la Lune.

Enfin la lumière des planètes est douce et tranquille : celle des étoiles est scintillante.

L'étude que nous avons faite des mouvements de la Terre a prouvé suffisamment que notre globe circule périodiquement autour du Soleil. En faisant voir maintenant qu'il en est de même des planètes *inférieures* et *supérieures*, nous aurons achevé de démontrer que la Terre est elle-même une planète.

II

MOUVEMENTS APPARENTS DES PLANÈTES. — ÉTUDE DU MOUVEMENT PROPRE D'UNE PLANÈTE; TRACÉ DE SA TRAJECTOIRE. — MOUVEMENT APPARENT DES PLANÈTES INFÉRIEURES; STATIONS, RÉTROGRADATIONS; ÉLONGATION MAXIMUM. — MOUVEMENT APPARENT D'UNE PLANÈTE SUPÉRIEURE; STATIONS, RÉTROGRADATION; OPPOSITION. — DURÉES DES RÉVOLUTIONS SYNODIQUES DES PLANÈTES PRINCIPALES.

Pour étudier le mouvement propre d'une planète, et obtenir la trajectoire qu'elle décrit sur la voûte céleste, la méthode à employer est celle-là même qui sert à déterminer l'orbite apparente du Soleil.

On mesure chaque jour, au moment de son passage au méridien, les coordonnées de l'astre, c'est-à-dire son ascension droite et sa déclinaison. Puis, sur un globe ou sur une carte céleste, on marque le point qu'indiquent les coordonnées. En répétant cette opération un nombre de fois suffisant, et en joignant les différents points ainsi obtenus par une courbe continue, on a la trajectoire de la planète.

Cette trajectoire, comme nous l'avons déjà dit, s'éloigne peu de l'écliptique. Mais elle diffère essentiellement de l'orbite du Soleil, en ce que ce n'est pas une courbe plane et en ce qu'elle présente en divers points de son développement

des sinuosités ou zigzags plus ou moins compliqués. L'orbite apparente du Soleil est toujours décrite dans le même sens, d'occident en orient. Il n'en est pas de même des orbites planétaires. Après s'être mue pendant un certain temps dans le même sens que le Soleil, c'est-à-dire dans le sens *direct*, la planète ralentit peu à peu son mouvement, puis devient stationnaire. Alors elle prend un mouvement progressif, de sens inverse, c'est-à-dire rétrograde, qu'elle continue jusqu'à ce qu'elle devienne de nouveau stationnaire. Elle reprend alors son mouvement direct, ayant ainsi tracé sur la voûte céleste une des sinuosités que nous avons signalées.

Il reste à montrer maintenant comment ces apparences s'expliquent dans la théorie aujourd'hui universellement admise et incontestée qui fait du Soleil le centre de tous les mouvements planétaires. Pour cela, examinons avec plus de détail les mouvements apparents des planètes inférieures et prenons pour exemple les planètes Vénus et Mars.

Vénus, dans le cours d'une de ses révolutions sur la voûte étoilée, se trouve avoir deux fois la même longitude que le Soleil. Comme elle n'est jamais très-éloignée de l'écliptique, elle est, à ces deux époques, perdue dans les rayons solaires et par conséquent invisible.

Mais peu à peu, la planète s'éloigne du Soleil, soit à l'orient, soit à l'occident, et elle devient visible dans la lumière du crépuscule. Considérons celle des deux époques où elle est visible après le coucher du Soleil, c'est-à-dire à l'orient de cet astre : c'est le moment de la *conjonction supérieure*. Elle s'en éloigne de jour en jour, d'où il suit que son mouvement sur la voûte céleste est direct, mais ce mouvement se ralentit peu à peu, jusqu'à ce que sa distance angulaire au Soleil ait atteint environ son maximum d'*élongation*.

Sa vitesse apparente est alors égale à celle du Soleil.

Mais Vénus se rapproche peu à peu de cet astre sans cesser d'avoir un mouvement direct, jusqu'à ce qu'elle devienne *stationnaire* sur la voûte céleste. Son mouvement devient ensuite rétrograde, ce qu'on reconnaît par la diminution de sa *longitude, et* elle ne cesse de se rapprocher du Soleil avec

une vitesse croissante, jusqu'à ce qu'elle se perde de nouveau dans ses rayons.

Pendant tout ce temps, Vénus n'a cessé d'être située à l'orient du Soleil et visible après son coucher. De là, le nom de *Vesper*, ou d'*étoile du soir*, que lui avaient donné les anciens.

Bientôt, elle apparaît de nouveau, mais le matin avant le lever du Soleil (c'était alors *Lucifer* ou l'*étoile du matin*). Son mouvement est toujours rétrograde, de sorte qu'elle s'éloigne toujours du Soleil, et que son élongation va croissant jusqu'à ce qu'elle ait atteint le même maximum d'environ 48 degrés. Puis elle reprend un mouvement direct, pour aller s'éteindre de nouveau dans les rayons solaires.

La période de ces phénomènes se nomme la *révolution synodique* de la planète, et les points où elle a la même longitude que le Soleil se nomment, l'un sa *conjonction supérieure*, l'autre sa *conjonction inférieure*.

Les mêmes phénomènes s'observent pour la planète inférieure Mercure, mais avec cette différence que le maximum d'élongation orientale ou occidentale, est seulement de 23 degrés. De plus, la durée de la révolution synodique qui est pour Vénus de 584 jours, n'est en moyenne que de 116 jours pour Mercure.

Il faut ajouter que, sur ces durées totales, le temps employé par les planètes à se mouvoir dans le sens rétrograde est moindre que le temps pendant lequel leurs mouvements sont directs. 42 jours seulement sur 584 sont consacrés par Vénus à son mouvement rétrograde; les 542 autres appartiennent à son mouvement direct. La rétrogradation de Mercure dure 23 jours, son mouvement direct, 93 jours.

Notons, comme une circonstance caractéristique des mouvements propres des planètes inférieures, que ces astres ne s'éloignent jamais du Soleil au delà de certaines limites : leurs distances angulaires à cet astre ne peuvent prendre toutes les valeurs possibles.

Étudions maintenant le mouvement propre d'une planète supérieure, de Mars par exemple.

Dans le cours d'une de ses révolutions synodiques, Mars se

trouve une fois en conjonction avec le Soleil, c'est-à-dire qu'elle a, alors, même longitude que cet astre, ou si l'on veut, que le même cercle de latitude contient à la fois Mars et le Soleil. Elle se trouve aussi une fois en opposition avec lui, leurs longitudes différant alors de 180 degrés. Pendant tout le reste du mouvement, la distance angulaire de la planète au Soleil prend toutes les valeurs possibles.

Comme cette circonstance s'applique à toutes les planètes supérieures, on voit que leurs mouvements propres diffèrent essentiellement de ceux de Mercure et de Vénus qui ont deux *conjonctions* et ne se trouvent jamais en opposition avec le Soleil.

Suivons Mars dans le cours d'une de ses révolutions, et pre-

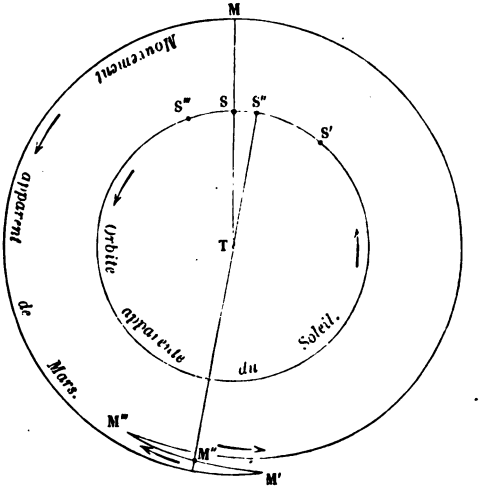


Fig. 95. Mouvement apparent d'une planète supérieure. Stations et rétrogradations.

nons pour point de départ le moment où il est en M en conjonction avec le Soleil qui est alors en S, entre la planète et la Terre. Peu après cet instant, on le voit se lever avant le

Soleil et se coucher avant lui. Peu à peu sa distance à l'astre augmente, de sorte qu'il semble de plus en plus occidental. Mais, si l'on étudie sa position relativement aux étoiles, on constate que son mouvement est direct, c'est-à-dire a lieu d'occident en orient; c'est donc parce que sa vitesse apparente est moindre que celle du Soleil qu'il semble s'éloigner de lui.

Cette vitesse est décroissante; elle diminue jusqu'à ce que Mars se trouve à 137° du Soleil en M'; alors la planète reste quelque temps *stationnaire*. Elle prend alors un mouvement rétrograde et progressivement plus rapide, de sorte qu'elle continue à s'éloigner du Soleil, jusqu'à ce que sa distance angulaire à l'astre atteigne 180° en M''. En ce moment, elle est en *opposition*, c'est-à-dire à l'opposé de la position S'' du Soleil, rapportée à la Terre; il en résulte qu'elle passe au méridien vers minuit, au moment même où le Soleil passe au méridien inférieur.

Le mouvement rétrograde continue, mais avec une vitesse décroissante, jusqu'au moment où Mars est de nouveau stationnaire en M'''; sa distance angulaire au Soleil est alors de 137°.

Il reprend de nouveau un mouvement direct, se rapprochant sans cesse du Soleil, dont la vitesse apparente est supérieure à la sienne. Enfin, Mars finit par se trouver en conjonction avec cet astre, c'est-à-dire dans la même situation, relativement au Soleil et à la Terre, qu'au point de départ. Il achève alors une révolution synodique, qu'il recommence indéfiniment de la même manière, dans des périodes d'environ 780 jours.

Sur cette durée totale 73 jours sont employés à parcourir l'arc rétrograde, les 707 autres appartiennent au mouvement direct.

Les mouvements des autres planètes supérieures sont semblables à celui de Mars, présentant comme lui une conjonction, une opposition, deux stations et une alternation pareille de mouvements directs et de mouvements rétrogrades. Mais les durées des révolutions synodiques varient d'une planète à l'autre, comme le montre le tableau suivant :

	Durée de la révolution synodique.	Durée du mouvement direct.	Durée du mouvement rétrograde.
Mars.....	780 jours.	707 jours.	72 jours.
Jupiter.....	399 —	278 —	121 —
Saturne.....	378 —	239 —	139 —
Uranus.....	369 —	217 —	152 —
Neptune....	367 —		

III

MOUVEMENTS RÉELS DES PLANÈTES AUTOUR DU SOLEIL. — EXPLICATION DES APPARENCES, DES STATIONS ET RÉTROGRADATIONS DES PLANÈTES. — PHASES DES PLANÈTES INFÉRIEURES.

Tels sont les mouvements compliqués que les planètes autres que la Terre paraissent décrire périodiquement sur la voûte étoilée. Il faut maintenant faire voir que ces apparences s'expliquent aisément, si l'on admet que tous ces astres se meuvent, à des distances diverses du Soleil, dans des orbites à peu près circulaires ayant le Soleil comme foyer commun.

Si l'observateur était placé au centre de tous les mouvements, il est clair que les apparences seraient pour lui beaucoup plus simples. Il verrait chacune des planètes se mouvoir toujours dans le même sens sur la voûte céleste, et parcourir tout un grand cercle avec une vitesse à peu près uniforme. Seulement la durée de chaque révolution varierait d'une planète à l'autre, et serait plus grande, à mesure que croîtrait la distance de l'astre au centre du mouvement.

Il n'en peut évidement être de même, pour un observateur situé sur l'un des astres mobiles, sur la Terre qui circule comme les autres planètes autour du Soleil. Le mouvement de notre globe, sa vitesse différente de leurs vitesses propres, se combinent avec les mouvements planétaires pour produire précisément ces phénomènes singuliers des stations, des rétrogradations que nous venons de décrire.

Essayons de rendre compte de ces phénomènes, et com-

mençons par les mouvements propres des planètes inférieures.

Soit S le Soleil, VV_1V_2.... l'orbite à peu près circulaire que Vénus décrit autour de cet astre en 225 jours environ. Négligeons l'inclinaison du plan de cet orbite sur l'écliptique, ce qui revient à ne considérer que les mouvements en longitude.

Quand Vénus est à sa conjonction inférieure, elle est entre le Soleil et la Terre, en V_2, en ligne droite avec ces deux astres T et S.

Si la Terre restait immobile et que Vénus tournât d'occident en orient, c'est-à-dire dans le sens de la flèche, il est clair que, pour un observateur situé sur notre globe, Vénus paraîtrait d'abord s'éloigner du Soleil; mais, comme les arcs qu'elle décrirait seraient vus de plus en plus obliquement, sa vitesse, qui est à peu près constante, paraîtrait diminuer de plus en plus, jusqu'à ce qu'elle atteignît le point V_3, où le rayon visuel TV_3 est tangent à l'orbite.

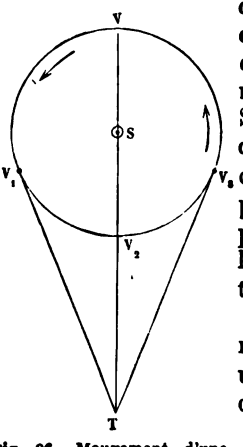


Fig. 96. Mouvement d'une planète inférieure dans l'hypothèse de la Terre immobile.

En ce point même sa vitesse semblerait nulle. L'arc V_2V_3, serait décrit dans un sens opposé au mouvement propre du Soleil; il serait rétrograde.

De V_3 en V le mouvement de Vénus paraîtrait au contraire direct, et sa vitesse apparente serait croissante jusqu'en V, où elle atteindrait son maximum. Mais alors la planète se trouverait de nouveau sur une même ligne droite avec le Soleil et la Terre; elle serait donc en conjonction, et comme elle est située au delà du Soleil, on dit que c'est la conjonction supérieure.

De V en V_1, le mouvement continue d'être direct, mais la vitesse est décroissante, et en V_1, Vénus est une seconde fois stationnaire. Enfin de V_1 à la nouvelle conjonction inférieure en V_2, le mouvement redevient rétrograde, la vitesse

croît de nouveau et atteint son maximum dans ce dernier point.

Ainsi les circonstances seraient, dans notre hypothèse, analogues à celles qu'on observe dans le mouvement des planètes inférieures. Les différences que nous allons signaler proviennent, comme on va voir, du mouvement de la Terre que nous avons d'abord négligé.

La Terre se meut dans son orbite dans le même sens que Vénus dans la sienne, mais avec une vitesse moindre;

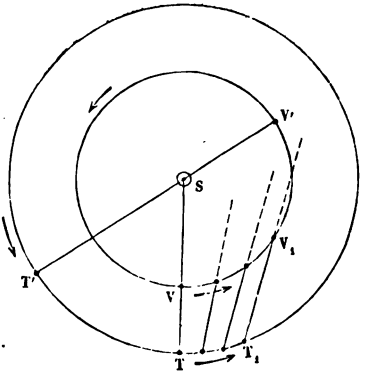


Fig 97. Explication des mouvements apparents d'une planète inférieure.

l'arc que notre globe décrit en un temps donné est moindre angulairement et en valeur absolue que l'arc décrit par Vénus dans le même temps. Le rayon visuel fait donc toujours paraître Vénus à l'occident du Soleil, mais elle a paru s'en éloigner moins que si la Terre était restée immobile. Tant que cette divergence subsistera, Vénus s'éloignera du Soleil. Mais, à cause du mouvement de la Terre, qui s'exécute dans le même sens que celui de la planète, on comprend que celle-ci atteindra plus tard le point où son élongation est maximum, comme aussi celui où elle paraît stationnaire, ce qui aura lieu quand les rayons visuels conserveront leur parallélisme, vers les positions T_1, V_1 des deux astres.

Pour la même raison, l'époque de la conjonction supérieure et celle de la station qui la suit seront retardées; mais le sens du mouvement et la distance variable de la planète au Soleil conserveront les mêmes apparences que dans l'hypothèse de l'immobilité de la Terre. On s'en rendra aisément compte à l'aide de la figure 97.

Fig. 98. Phases d'une planète inférieure.

Quand Copernic découvrit la véritable cause des stations et des rétrogradations planétaires, il prédit que si Vénus et Mercure pouvaient être observés d'une moindre distance, on trouverait que ces astres présentent des phases comme la Lune. Or, c'est ce qu'on vérifia, dès que l'invention des télescopes permit de rapprocher les distances.

La raison de ce fait est très-simple. Quand la planète est

en conjonction inférieure en V (fig. 98), elle tourne vers la Terre son hémisphère obscur; elle est donc invisible à moins que, sa latitude étant très-petite, elle se projette précisément sur le disque solaire sous la forme d'une tache noire ou ronde. A l'époque des quadratures, ou de son maximum d'élongation en V', la planète présente à la Terre un hémisphère moitié éclairé, moitié obscur. A la conjonction supérieure, c'est un disque lumineux complet, à moins qu'elle ne passe derrière le disque.

L'observation témoigne de l'exactitude de la prédiction de Copernic, et les passages de Mercure et de Vénus sur le Soleil ont été constatés comme les phases. On remarque en outre que les dimensions du diamètre apparent varient précisément de la manière qu'indiquent les changements de distance de la planète et de la Terre.

Il nous reste maintenant à expliquer les stations et les rétrogradations des planètes supérieures. Prenons Mars pour exemple, et choisissons pour point de départ l'instant de l'opposition.

En ce moment, la Terre est en T (fig. 99), entre le Soleil et Mars et sur la même ligne droite. Mars, vu de la Terre, se projette en un certain point de la voûte étoilée.

Mars et la Terre vont se mouvoir les jours qui suivent l'opposition, et décrire sur leurs orbites respectives des arcs *Tt*, *tt'*.... *Mm*, *mm'*.... dirigés dans le même sens, de droite à gauche ou d'occident en orient. Mais les arcs décrits par Mars sont de moindre longueur que ceux décrits par la Terre, de sorte que les rayons visuels allant successivement d'une planète à l'autre iront aboutir sur la voûte céleste en des points situés à droite de la position primitive de Mars. La planète aura paru rétrograder dans le ciel, bien que sa marche réelle sur son orbite ait été directe.

Peu à peu le mouvement des deux planètes sera tel que le mouvement apparent de rétrogradation diminuant de vitesse, deviendra nul; les rayons visuels successifs *t''m''*, *t'''m'''*, devenus parallèles, perceront le ciel au même point pendant quelques jours : Mars paraîtra stationnaire.

Or, si une station a lieu quelque temps après l'opposition,

par suite des mouvements combinés de la planète et de la Terre, il est évident, sans entrer dans plus de détails, qu'une station a dû précéder l'opposition, puisque les arcs décrits par les deux corps sont symétriquement placés par rapport à leurs positions en cet instant.

Au delà, la Terre et Mars continuant à se mouvoir sur leurs orbites, les rayons visuels qui les joignent divergent de nouveau, mais en sens contraire, de sorte que la position de Mars par rapport aux étoiles change de plus en plus rapide-

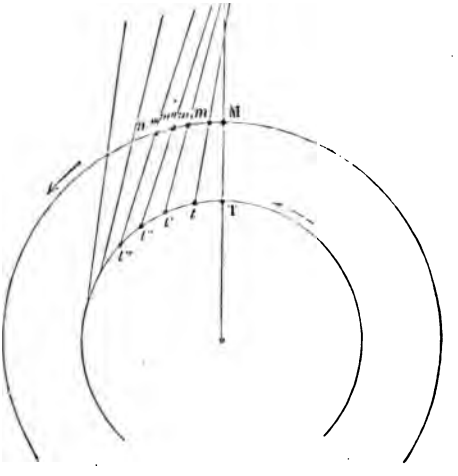


Fig. 99. Explication des mouvements apparents d'une planète supérieure.

ment : le mouvement sera direct et sa vitesse croissante jusqu'à la conjonction.

Comme nous l'avons dit, la même explication convient aux mouvements apparents des autres planètes supérieures.

Du reste on peut se faire une idée bien simple et bien claire des circonstances que présentent les mouvements des planètes vus de la Terre par les deux expériences suivantes.

Imaginons qu'on plante en rase campagne, sur le sol d'une plaine, un poteau fixe représentant le Soleil, et qu'une per-

sonne décrive en courant, de droite à gauche et d'une vitesse uniforme, un cercle autour de ce poteau.

L'observateur, posté en dehors du cercle et à une certaine distance, verra son compagnon passer tantôt en avant, tantôt en arrière du poteau, suivant qu'il décrira l'une ou l'autre des moitiés du cercle. Dans le premier cas, il semblera courir de gauche à droite; dans le second cas, de droite à gauche. Sa vitesse lui paraîtra la plus grande aux deux moments où il se trouvera en ligne droite avec le poteau : elle sera nulle enfin

Fig 100. Stations et rétrogradations des planètes inférieures Expérience comparative.

aux deux moments où le sens de sa course circulaire paraîtra changer.

Que l'observateur se mette alors à marcher dans le même sens sur le cercle plus grand où il se trouve, mais avec une moindre vitesse que l'autre personne. Les apparences resteront à peu près les mêmes : il y aura toujours des stations et des rétrogradations, mais leur période durera plus long temps, et de plus le poteau lui-même semblera faire le tour de l'horizon.

Le poteau représente le Soleil, la personne qui circule autour dans le cercle intérieur, est Vénus ou Mercure, et l'observateur est la Terre.

Renversons les rôles. Imaginons que l'observateur parcoure le cercle intérieur et qu'il poste son compagnon sur le cercle extérieur en l'y laissant d'abord immobile.

Si, sans cesser de tourner, il marque des yeux la position que ce dernier occupait au début de son mouvement en prenant pour point de repère le point de l'horizon qu'il masquait, il verra qu'il semble se mouvoir d'abord dans le même sens que le poteau, puis peu à peu s'arrêter, devenir stationnaire, revenir à sa position primitive par un mouvement opposé, la dépasser, s'arrêter de nouveau et reprendre enfin son mouvement direct et la position qu'il avait au point de départ.

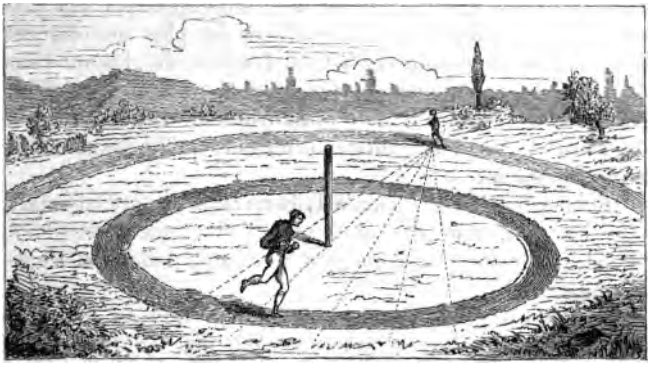


Fig. 101. Stations et rétrogradation des planètes supérieures.

Cette fois-ci, c'est la personne se déplaçant sur le cercle intérieur qui représente la Terre, et l'on voit que la conjonction et l'opposition, les stations et rétrogradations devraient se reproduire à chaque révolution terrestre, c'est-à-dire chaque année. Cela vient de ce que nous avons laissé la personne placée sur le cercle extérieur immobile. Cette personne représente une planète supérieure. Si elle se meut elle-même sur son cercle ayant aussi le poteau pour centre, mais en se déplaçant avec une vitesse moindre que celle de l'observateur, ce dernier verra se produire les mêmes apparences et dans le même ordre,

Seulement les intervalles des divers phénomènes seront plus longs, et la période totale différera d'autant plus d'une année, c'est-à-dire d'une révolution de la Terre, que la planète extérieure se déplacera plus vite, ou ce qui revient au même sera plus voisine de la Terre. Le tableau que nous avons donné plus haut montre en effet que la durée dont nous parlons dépasse à peine 365 jours pour Neptune, la plus éloignée de toutes les planètes connues.

La complexité des mouvements que nous venons d'étudier a été, pendant des siècles, la pierre d'achoppement des astronomes. Comme la base de leur doctrine était l'immobilité de la Terre et le mouvement réel du Soleil, ils ne pouvaient rendre compte des stations et des rétrogradations des planètes, qu'en adoptant les hypothèses les plus compliquées pour le mouvement de ces astres. L'orbite de chacun d'eux était formée non d'une courbe unique, mais d'une série de cercles dont le centre de l'un se mouvait sur la circonférence de l'autre : c'est à ces cercles extérieurs qu'ils donnaient le nom d'épicycles.

Plus d'ailleurs l'astronomie d'observation se perfectionnait, plus les anomalies des mouvements devenaient sensibles, plus les théories astronomiques se compliquaient et s'embrouillaient.

C'est cet état de choses qui a donné lieu au mot bien connu, qu'on attribue à Alphonse de Castille : « Si Dieu m'eût appelé à son conseil, au moment où il créa le monde, je lui aurais donné de bons avis pour l'ordonner d'une façon moins compliquée. »

C'est à Copernic, nous l'avons déjà dit, que revient l'honneur d'avoir découvert le véritable système des mouvements planétaires. En plaçant le Soleil au centre de notre monde, en faisant mouvoir autour de lui la Terre et les autres astres qui le composent, il réussit à expliquer avec une simplicité merveilleuse les circonstances les plus détaillées des apparences que nous avons décrites tout à l'heure. Les stations et rétrogradations des planètes, leurs vitesses alternativement décroissantes, nulles et croissantes, sont donc autant de témoignages de la réalité du mouvement de notre globe. « Elles en

sont, dit M. Biot, dans son *Astronomie*, une conséquence si frappante qu'elle suffirait seule pour faire adopter le reste de cette théorie. »

IV

MOUVEMENT DES PLANÈTES. — LOIS DE KÉPLER.

Copernic n'eut pas le bonheur de contempler les magnifiques conséquences de la révolution que produisit dans l'astronomie la publication de son grand ouvrage sur les mouvements des corps célestes. La crainte des persécutions lui fit retarder pendant trente ans l'impression de son livre, et ce n'est qu'à son lit de mort, déjà frappé par l'apoplexie, qu'il put en toucher de ses mains défaillantes le premier exemplaire.

La nouvelle théorie se répandit lentement : condamnée par l'Église, elle trouva dans Képler, dans Galilée, et enfin dans Newton, des défenseurs qui ne se contentèrent pas de l'adopter telle quelle, mais qui, par d'immortels travaux, la portèrent au plus haut degré de perfection et de certitude.

Copernic, en démontrant la réalité du double mouvement de la Terre et des révolutions des planètes autour du Soleil, n'avait pas déterminé les éléments des orbites de ces corps. C'est au grand Képler qu'est due la découverte des lois qui régissent ces mouvements, découverte rendue possible par les nombreuses observations de Tycho-Brahé et les siennes propres.

Nous allons, après avoir rappelé quelques faits exposés dans l'Introduction, donner les nombres relatifs aux éléments des orbites planétaires; puis énoncer les trois grandes lois auxquelles Képler a eu la gloire d'attacher son nom.

Toutes les planètes sans exception décrivent autour du Soleil des courbes fermées à peu près circulaires, dont le sens est le même pour toutes, et dont les plans sont peu inclinés les uns *sur les autres*.

Le sens de ces mouvements est le même que celui de la rotation de la Terre, et en général de la rotation du Soleil et des autres planètes; ils s'effectuent donc tous d'occident en orient, ou de droite à gauche pour un observateur qui serait placé au centre commun, de manière à avoir la tête dans l'hémisphère nord de la voûte céleste.

Enfin, le plan de l'orbite reste, pour chaque planète, ainsi que sa moyenne distance au Soleil, à peu près invariable.

La première loi découverte par Képler est relative à la forme des orbites. Elle s'énonce ainsi :

L'orbite de chaque planète est une ellipse dont le Soleil occupe un des foyers.

Nous avons déjà vu que telle est la forme de l'orbite terrestre, déterminée par les variations de distance de la Terre au Soleil, ou ce qui revient au même, par les variations de grandeur qu'on observe, pendant le cours d'une année, dans le diamètre apparent du disque solaire.

La forme d'une ellipse dépend de l'élément qu'on nomme *excentricité*, qui est la distance du centre de la courbe à son foyer, exprimée au moyen du demi-grand axe pris pour unité. Une ellipse est d'autant plus allongée ou excentrique, que son excentricité est plus considérable; d'autant plus rapprochée du cercle que cette quantité est moindre. Les orbites de Vénus, de Neptune, de la Terre, sont presque circulaires. Les plus allongées sont celles de Mercure et d'un grand nombre de petites planètes.

L'excentricité connue, ce qui achève de déterminer l'orbite d'une planète, c'est la position et la longueur de son grand axe. Ce dernier élément est donné par la troisième loi de Képler, quand on a déterminé la durée de la révolution sidérale.

Il résulte évidemment de la première loi que la distance d'une planète au Soleil varie continuellement dans le cours d'une révolution, et prend toutes les valeurs possibles entre deux distances extrêmes qui correspondent aux deux positions occupées par la planète, lorsqu'elle se trouve à l'une ou à l'autre des extrémités du grand axe de l'orbite.

La seconde loi de Képler est relative à la vitesse dont

chaque planète est animée dans les diverses positions qu'elle occupe sur son orbite, pendant le cours d'une de ses révolutions périodiques.

Képler a trouvé qu'il y a une relation constante entre le temps employé par la planète à parcourir un arc de son orbite, et l'aire comprise entre cet arc et les rayons vecteurs qui joignent ses deux extrémités au Soleil.

Nous avons déjà vu que la vitesse d'une planète sur son orbite n'est pas uniforme; et, en examinant comment varie en particulier la vitesse de la Terre, nous avons dit que le mouvement est d'autant plus rapide que la planète est plus rapprochée du Soleil. Mais de quelle manière cette vitesse varie-t-elle, c'est ce que va nous apprendre la seconde loi de Képler.

Considérons une même planète à diverses époques de sa révolution, et supposons qu'on marque sur son orbite au-

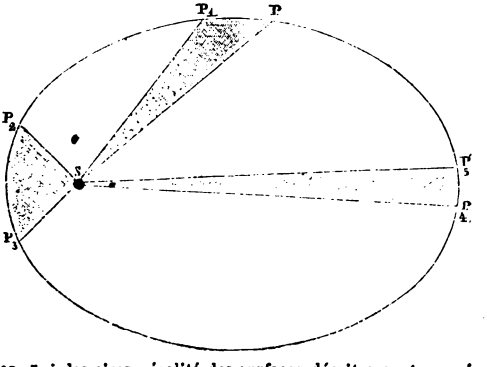


Fig. 102. Loi des aires; égalité des surfaces décrites en temps égaux par le rayon vecteur d'une planète.

tant d'arcs parcourus par la planète en des temps égaux : PP_1, P_2P_3, P_4P_5.

Nous avons dit que la vitesse de l'astre varie. Cela ne revient-il pas à dire que les trois chemins parcourus sont d'inégale longueur? Évidemment; de sorte que la difficulté consistait à trouver un rapport entre ces longueurs constamment

variables. Menons au Soleil les rayons vecteurs[1] de la planète dans chacune des positions considérées : nous formerons ainsi autant de triangles qu'il y a d'arcs comparés.

Eh bien, les surfaces ou aires de ces triangles, dont les bases, retenons-le, sont des portions de l'orbite décrites en des durées équivalentes, sont toujours égales.

Dès lors, si les durées deviennent doubles, triples, quadruples, etc., les aires des triangles formés par les rayons vecteurs seront doubles, triples, quadruples.

Képler a donc dû formuler ainsi sa seconde loi :

Les aires décrites ou balayées par les rayons vecteurs d'une planète autour du foyer solaire, sont proportionnelles aux temps employés à les décrire.

Ne ressort-il pas clairement de cette seconde loi, que les arcs décrits dans des temps égaux doivent être d'autant plus petits que la planète est plus éloignée du Soleil, d'autant plus grands qu'elle en est plus rapprochée? Les triangles regagnent ainsi dans le sens de la longueur ce qu'ils perdent dans le sens de la base, et l'égalité de leurs surfaces reste constante.

Les deux premières lois de Képler ne s'appliquent pas seulement aux orbites des planètes principales; mais encore aux orbites des satellites. Ainsi, la courbe décrite par la Lune autour de la Terre considérée comme immobile est une ellipse, et notre globe occupe un de ses foyers. De plus, la vitesse de notre satellite est telle, que si l'on partage son orbite en portions parcourues en des temps égaux, tous les triangles formés par les rayons vecteurs lunaires en ces positions diverses, ont en surface une égale étendue.

La troisième loi de Képler est d'une importance capitale, pour la détermination des dimensions réelles de notre monde solaire et des divers astres qui le composent. Elle établit, en effet, un rapport entre les durées des révolutions sidérales des planètes, et les longueurs des grands axes de leurs orbites.

1. Dans les orbites planétaires, on ne considère qu'un des deux foyers de la courbe, celui qu'occupe le Soleil; en chaque position de la planète, *il n'y a donc* aussi qu'un seul rayon vecteur.

Avant d'en donner l'énoncé, faisons voir par un exemple comment il a été possible de calculer les durées des révolutions de chaque planète autour du Soleil. Prenons pour exemple la planète Jupiter. Chercher la durée de sa révolution « dit M. J. Bertrand à qui nous empruntons ce passage d'une notice consacrée à Copernic, est un problème dont, malgré les difficultés apparentes, la solution est extrêmement simple. On peut, en effet, comparer la ligne droite nommée rayon vecteur qui réunit le centre fixe du Soleil au centre mobile de Jupiter, à l'aiguille d'une horloge, et le temps qu'elle met à parcourir son immense cadran est la durée de la révolution de Jupiter. Nous pouvons regarder le rayon vecteur qui réunit la Terre au Soleil comme une aiguille plus courte que la précédente et tournant dans le même sens; le mouvement de celle-ci est bien connu : elle fait son tour en une année. Supposons maintenant, quoique cela ne soit pas absolument exact, que les plans des deux orbites coïncident, en d'autres termes que les deux aiguilles de longueur inégale marchent sur le même cadran. Placés, comme nous le sommes à l'extrémité de la plus petite, il nous est facile de signaler sa rencontre avec la plus grande, et les astronomes qui observent attentivement le Soleil et la planète Jupiter sauront dire à quel moment nous nous trouvons sur la ligne qui les joint; ils ont trouvé depuis longtemps que ces oppositions de Jupiter, ou, ce qui revient au même, les rencontres des deux aiguilles ont lieu, en moyenne, tous les 400 jours. La plus petite fait donc en 400 jours un tour de plus que la plus grande, et comme le mouvement de celle-ci nous est connu, le plus simple écolier en déduira le mouvement supposé uniforme, c'est-à-dire le mouvement moyen de l'autre ; c'est ainsi que l'on a trouvé la durée de la révolution de Jupiter égale à 4332 jours et 14 heures[1]. »

Voici quelles sont en jours moyens et fractions de jours

1. *Les fondateurs de l'Astronomie moderne. — Copernic*, par J. Bertrand, de l'Institut.

moyens les durées des révolutions sidérales des principales planètes :

	jours.
Mercure	87.969
Vénus	224.701
La Terre	365.256
Mars	686.980
Jupiter	4 332.585
Saturne	10 759.220
Uranus	30 686.821
Neptune	60 126.720

Ce sont ces nombres que le génie de Képler est parvenu, après d'infatigables efforts, à relier par une formule simple aux moyennes distances des planètes au Soleil. Ces distances n'étaient point connues alors d'une manière absolue, mais l'illustre astronome parvint à trouver leurs rapports, du moins pour Mars et les quatre autres planètes qui, avec la Terre, formaient l'ensemble des corps célestes du monde solaire, à l'époque de sa découverte.

Voici ces distances, telles qu'on les connaît aujourd'hui, exprimées en fonction de la distance moyenne de la Terre au Soleil, prise pour unité :

Mercure	0.387
Vénus	0.723
La Terre	1.000
Mars	1.524
Jupiter	5.203
Saturne	9.539
Uranus	19.183
Neptune	30.037

Comparons maintenant les nombres qui donnent les durées des révolutions sidérales avec ceux qui mesurent les moyennes distances. Effectuons les carrés des premiers et les cubes des autres; puis comparons deux à deux, les carrés et les cubes relatifs à deux planètes quelconques. Prenons Vénus et Jupiter pour exemples. Les carrés des

temps sont, pour Vénus, 50 490.5394, et pour Jupiter, 18 771 292.7822. Les cubes des grands axes sont, à une unité près du 9me ordre, pour Vénus, 0.378 391 648; pour Jupiter, 140.835 258 325. Divisons les carrés l'un par l'autre, le quotient est le nombre 372. Divisons les cubes l'un par l'autre, le quotient est encore le nombre 372.

Ces deux quotients changeraient si l'on considérait deux autres planètes; mais leur égalité persisterait. Or, c'est en cette égalité même que consiste la troisième loi de Képler, dont voici l'énoncé :

Les carrés des temps des révolutions des planètes autour du Soleil sont proportionnels aux cubes de leurs moyennes distances[1].

De cette formule découle immédiatement une importante conséquence : c'est qu'il suffit de connaître les durées des révolutions des planètes pour en déduire leurs moyennes distances au Soleil ou les dimensions de leurs grands axes. Alors, si une seule de ces distances est connue en valeur absolue, il en est de même de toutes les autres. La connaissance des distances relatives des différents corps du monde solaire se trouve ainsi ramenée à la recherche d'une seule d'entre elles, de la Terre, par exemple.

Après Képler, Newton est venu, qui a fait voir que les trois grandes lois dont on vient de lire l'énoncé sont les conséquences naturelles du principe de la gravitation, de cette force à laquelle sont soumis tous les corps célestes, et dont la pesanteur à la surface de la Terre n'est qu'un mode particulier de manifestation

1. Ou, ce qui revient au même, proportionnels aux cubes des grands axes de leurs orbites.

V

MONOGRAPHIES DES PLANÈTES PRINCIPALES. — LEURS DISTANCES AU SOLEIL; LEURS DIMENSIONS, LEURS FORMES. — DURÉE DE LEURS MOUVEMENTS DE ROTATION. — DÉTAILS SUR LEUR CONSTITUTION PHYSIQUE. — VÉNUS ET MERCURE; PHASES; PASSAGES SUR LE SOLEIL. — MARS, SES CONTINENTS ET SES MERS; TACHES BLANCHES DE SES PÔLES. — JUPITER, SES BANDES, SES SATELLITES. — ANNEAUX DE SATURNE; SES HUIT SATELLITES. — URANUS ET NEPTUNE. — IDÉE DE LA MÉTHODE QUI A SERVI A DÉCOUVRIR NEPTUNE.

MERCURE.

Mercure, nous l'avons vu, est la planète connue la plus rapprochée du Soleil. Sa distance moyenne à cet astre n'est pas les 4 dixièmes de la distance moyenne de la Terre : elle est d'environ 57 millions de kilomètres ou 14 250 000 lieues.

Mais comme son orbite est très-excentrique — c'est la plus allongée parmi celles des planètes principales — il en résulte que tantôt Mercure s'éloigne du Soleil jusqu'à 69 millions de kilomètres, tantôt s'en approche à 45 millions à peu près.

Vu de Mercure à l'époque de sa distance moyenne, le Soleil paraît près de 7 fois aussi grand en surface que vu de la Terre; d'où l'on conclut que l'intensité de sa lumière et de sa chaleur est aussi proportionnellement sept fois plus grande. Mais ce nombre ne nous apprend rien sur la température de la planète, parce que nous n'avons aucune donnée sur la constitution de son sol et de son atmosphère.

Il arrive assez souvent qu'à l'époque de sa conjonction inférieure, Mercure passe au devant du disque solaire, et s'y projette sous la forme d'une petite tache ronde[1]. On a choisi

[1] Le dix-neuvième siècle aura vu treize de ces passages. Le plus prochain est annoncé pour le 5 novembre 1868.

ces moments pour mesurer son diamètre apparent et s'assurer de la forme rigoureuse de la planète, et l'on a pu déduire de ces mesures ses dimensions réelles et son aplatissement.

Mercure est, comme la Terre, un sphéroïde; mais son aplatissement est double environ de celui de notre globe; on l'évalue à $\frac{1}{150}$.

En prenant le rayon terrestre pour unité, celui de Mercure est 0. 370, de sorte qu'il mesure environ 2370 kilomètres, et que la périphérie de son globe offre un développement de près de 15 000 kilomètres.

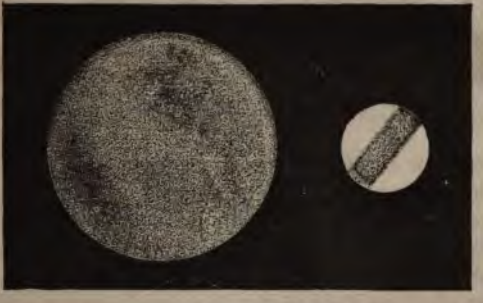


Fig. 103. Mercure et la Terre; dimensions comparées.

Comparé au volume de la Terre, celui de Mercure n'en est que les 51 millièmes, un peu plus d'un vingtième.

Nous avons vu que Mercure, observé dans les télescopes présente des phases analogues à celles de la Lune. En étudiant les irrégularités du croissant, celles des cornes (fig. 104), on a pu constater les retours périodiques de certaines d'entre elles, constater ainsi le mouvement de rotation de la planète, et en déterminer la durée. On a trouvé qu'elle tourne sur elle-même en 24 heures 5 minutes, de sorte qu'il y a près de 88 de ces rotations dans l'année de Mercure. L'axe autour duquel se fait ce mouvement est très-incliné, paraît-il, sur le plan de l'orbite, circonstance qui doit produire dans les

durées successives des jours et des nuits, et dans les températures des saisons, des variations considérables.

Fig. 104. Croissant de Mercure, d'après Schrœter.

Schrœter, en observant l'un des passages de Mercure, a cru voir le disque noir environné d'une auréole vaporeuse. Il en conclut que la planète est entourée d'une épaisse atmosphère. Enfin les observations des troncatures du croissant par le même astronome laissent penser que la surface de la planète est couverte d'aspérités, ou de montagnes fort élevées.

VÉNUS.

A une distance du Soleil un peu moindre que 107 millions de kilomètres, circule Vénus dans une orbite à peu près circulaire. Les distances aphélie et périhélie de cette planète ne diffèrent pas entre elles de 1 500 000 kilomètres.

La surface du disque solaire vu de Vénus, est encore près de deux fois aussi grande que celle qu'il nous présente sur la Terre : sa lumière et sa chaleur y sont donc aussi près de deux fois aussi intenses ; mais il faut faire à cet égard, pour Vénus et pour toutes les planètes, la réserve que nous avons faite pour Mercure. Il ne s'agit ici que de la quantité de cha-

leur reçue à la surface, non de la manière dont elle agit sur la température.

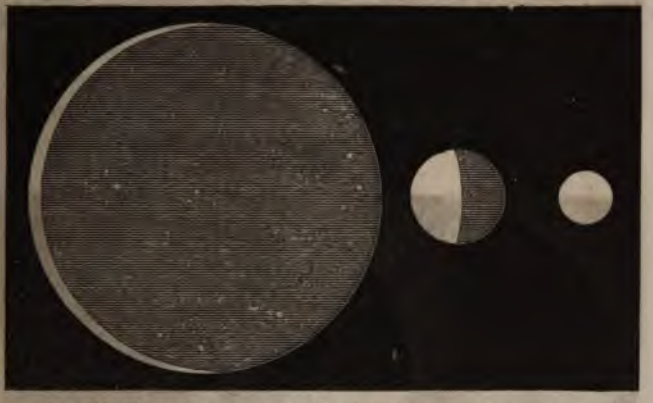


Fig. 105. Dimensions apparentes de Vénus à ses distances extrêmes et moyenne de la Terre.

Le diamètre apparent de Vénus varie beaucoup parce que ses distances à la Terre sont elle-mêmes fort variables, étant

Fig. 106. Vénus et la Terre.

égales tantôt à la somme, tantôt à la différence de leurs dis-

tances respectives au Soleil. La figure 105 donne une idée juste de ces variations.

Quant aux dimensions réelles de la planète, elles approchent beaucoup de celles de la Terre. Le rayon de Vénus est les 93 centièmes environ du rayon équatorial terrestre, ce qui fait en valeur absolue 5940 kilomètres, et, pour sa circonférence 37 250 kilomètres, plus de neuf mille lieues.

Son volume est 0.806, le volume de la Terre étant pris pour unité.

Fig. 107. Échancrures du croissant de Vénus, d'après Schrœter.

On n'a encore pu mesurer l'aplatissement de son globe, l'irradiation produite par l'éclat de sa lumière rendant les mesures très-difficiles. Mais, en observant quelques taches du disque, ainsi que les irrégularités du croissant pendant plusieurs périodes de ses phases, on a reconnu que Vénus a un mouvement de rotation de 23 heures 21 minutes. L'année de Vénus comprend 231 de ces rotations.

L'axe autour duquel ce mouvement s'effectue est incliné de 40 degrés environ sur le plan de l'orbite. Comparée à celle de l'axe de la Terre, c'est une inclinaison considérable, et il doit en résulter des variations très-grandes dans les durées relatives des jours et des nuits, et dans les phénomènes des saisons.

Vénus passe, comme Mercure, sur le disque du Soleil dans certaines de ses conjonctions inférieures. Mais ces passages, fameux dans l'histoire de l'astronomie, parce qu'ils ont servi au dernier siècle à mesurer la parallaxe du Soleil, sont beaucoup plus rares que ceux de Mercure : ils n'ont lieu que deux fois par siècle, à peu près. Le 8 décembre 1874 et le 6 décembre 1882, sont les dates impatiemment attendues des retours de ces phénomènes dans le dix-neuvième siècle. Il n'y en aura plus ensuite avant l'an 2004.

Fig. 108. Inclinaison de l'axe de rotation de Vénus.

Pendant le passage de 1761, Vénus parut entourée d'un anneau nébuleux qui s'explique aisément par l'existence d'une épaisse atmosphère autour de son globe. Enfin les irrégularités de la ligne qui sépare l'ombre de la lumière, dans les phases de Vénus, ont fait naturellement supposer que cette planète est couverte de montagnes dont la hauteur paraît considérable.

MARS.

Après la planète Vénus, c'est la Terre qu'on rencontre quand on s'éloigne du Soleil; mais nous avons donné tous les détails relatifs à sa forme, à ses dimensions, à sa consti-

tution physique dans les chapitres I et II de cet ouvrage. C'est donc Mars que nous avons maintenant à décrire.

La distance moyenne de Mars au Soleil surpasse une fois et demie celle de la Terre et mesure environ 225 millions de kilomètres. A l'aphélie cette distance s'élève à près de 246 millions, et au périhélie, elle n'est plus que de 204 millions de kilomètres. Ces différences accusent une orbite beaucoup plus allongée que l'orbite terrestre ; et, en effet, l'excentricité de Mars vaut près de 6 fois l'excentricité de l'orbite de la Terre.

Les distances de Mars à notre planète varient dans des limites très-étendues, qu'il est aisé de constater dans les télescopes par des variations de son diamètre apparent. C'est au moment de l'opposition que ce diamètre atteint son maximum, ou que la distance à la Terre est la plus petite possible. Le 17 août 1845, Mars se trouvant alors en opposition n'était plus qu'à une distance de la Terre égale à 56 500 000 kilomètres, un peu plus de 14 millions de lieues.

Mars, vu de la Terre, offre des phases; vers l'époque de ses quadratures, le disque ne paraît pas complétement circulaire. Il ressemble au disque de la Lune deux ou trois jours avant ou après son plein.

La mesure du diamètre apparent de Mars a donné pour son diamètre un nombre égal aux 54 centièmes environ du diamètre de la Terre, de sorte que le rayon de son globe mesure à peu près 3400 kilomètres, et la circonférence de son équateur 21 360 kilomètres ou 5340 lieues. En prenant le volume de la Terre pour unité, celui de Mars est 0.157.

Le globe de Mars est très-sensiblement elliptique; on évalue son aplatissement à 1/50 et même, selon d'autres observateurs, à 1/33; c'est entre 6 et 9 fois l'aplatissement de la Terre.

Quand on examine le disque de Mars avec de forts télescopes, on distingue à sa surface des taches permanentes qui ont un mouvement de progression dans le même sens, ce qui indique une rotation du globe autour d'un de ses diamètres. La durée de cette rotation est de 24 heures 37 minutes.

En comparant ce nombre avec la durée de l'année de la

planète, on voit que celle-ci se compose de 669 jours sidéraux de Mars.

L'axe de rotation est incliné sur le plan de l'orbite, d'environ 61°18'. C'est un peu moins que l'inclinaison de l'axe de la Terre.

L'année de Mars est presque double en durée de l'année terrestre, mais on voit qu'en même temps le nombre des jours dont elle se compose est aussi presque double. D'ailleurs l'inclinaison de l'équateur ou de l'axe sur l'orbite donne à peu de chose près la même succession dans les jours et les nuits de la planète, lesquels varient seulement avec plus de

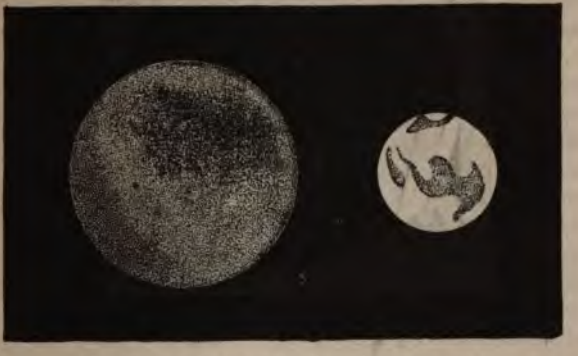


Fig. 109. Mars et la Terre. Dimensions comparées.

lenteur que sur la Terre. Enfin, les saisons doivent offrir sur Mars, sauf leur longueur plus grande, beaucoup d'analogie avec les saisons terrestres.

A sa distance moyenne au Soleil, la lumière et la chaleur de cet astre ont une intensité égale à 0.43, en prenant pour unité l'intensité de cette lumière telle qu'elle parvient à notre planète.

L'étude du disque de Mars au télescope a fourni d'importantes données sur sa constitution physique, qui paraît avoir beaucoup d'analogie avec celle de la Terre. On y distingue des taches brillantes, de teinte légèrement rougeâtre,

et des taches sombres de couleur bleue, dont les formes à peu près invariables accusent l'existence de mers et de continents.

Outre ces taches permanentes, on a remarqué des taches sombres variant assez rapidement de forme et de positions : ce sont sans doute des masses nuageuses se mouvant dans l'atmosphère de la planète.

Fig. 110. Vue de Mars. Taches polaires, d'après Warren de la Rue.

Enfin les deux extrémités de l'axe de rotation ou les deux pôles de Mars paraissent recouverts de taches blanches d'un éclat supérieur aux autres parties brillantes du disque. L'étendue de ces calottes polaires est d'ailleurs variable, et l'on a remarqué que leur accroissement et leur diminution étaient en rapport avec la position de chaque pôle vis-à-vis du Soleil. C'est pendant l'hiver de chaque hémisphère que les taches du pôle correspondant s'étendent, envahissant des latitudes de plus en plus voisines des zones tempérées : au contraire, pendant l'été, elles diminuent et finissent par se restreindre à un cercle de faible étendue ayant le pôle pour *centre*.

Tous ces phénomènes ont suggéré l'hypothèse que l'atmosphère de Mars est chargée de vapeurs comme la nôtre, lesquelles se précipitent en hiver sous forme de neige, de sorte qu'il y a sur cette planète, comme sur la Terre, deux zones polaires couvertes de neige et de glace.

JUPITER.

Jupiter est la plus grosse de toutes les planètes. Son volume est près de 1400 fois le volume de notre globe, ou la 910e partie du globe solaire.

Son diamètre mesure 142 000 kilomètres ; il vaut donc 11 fois le diamètre équatorial de la Terre. Enfin la circonférence de son équateur offre un développement qui n'est pas moindre de 445 000 kilomètres ou 110 400 lieues environ.

Ces dimensions ont été déduites de la mesure du diamètre apparent de Jupiter et de sa distance au Soleil, qui est en moyenne de 768 millions de kilomètres. Comme l'excentricité de son orbite est assez considérable, environ triple de celle de la Terre, Jupiter s'éloigne du Soleil, à l'époque de sa plus grande distance, à 805 millions de kilomètres, et à son périhélie s'en rapproche jusqu'à 730 millions ; cela fait près de 40 millions de kilomètres de différence entre sa distance moyenne et ses distances extrêmes.

L'intensité de la chaleur et de la lumière solaire étant 1 à la distance de la Terre, est réduite à 0.037 lorsqu'elle parvient à la surface du globe de Jupiter.

Examiné dans les télescopes, le disque de cette planète ne présente pas de phases sensibles ; il apparaît sensiblement aplati, et l'on évalue à 1/18 la valeur de cet aplatissement qui, comme on voit, est près de 17 fois aussi grand que celui de la Terre.

De larges bandes alternativement lumineuses et obscures sillonnent le disque de Jupiter. En étudiant ces taches dans leurs détails caractéristiques, on reconnaît qu'elles ont un mouvement périodique de durée constante, qui accuse évidemment le mouvement de rotation de la planète autour d'un de ses diamètres. On a trouvé 9 heures 55 minutes pour la

durée de cette rotation, qui s'effectue précisément autour d'un diamètre perpendiculaire à la direction générale des bandes et passant par les deux pôles qu'indique l'aplatissement.

La vitesse de ce mouvement est donc près de 2 fois 1/2 celle de la rotation terrestre; mais, à cause des grandes dimensions du globe de Jupiter, le mouvement d'un point de son équateur entraîné par la rotation est de 12500 mètres par

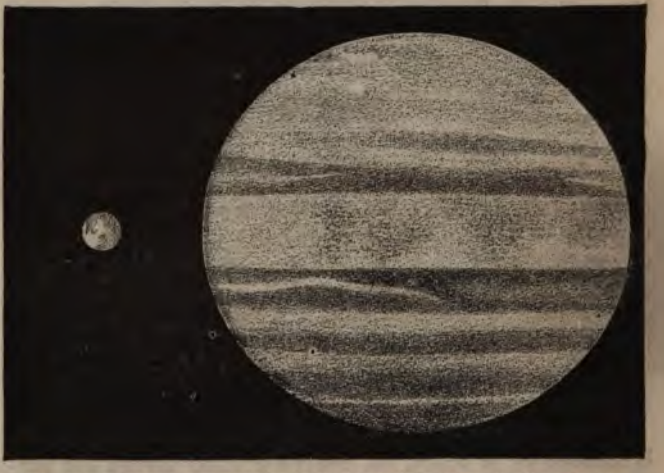


Fig. 111. Dimensions comparées de Jupiter et de la Terre. Bandes sombres et brillantes.

seconde, vitesse 27 fois aussi grande que celle d'un point de l'équateur de la Terre.

L'axe de rotation de Jupiter est incliné de 87 degrés sur le plan de l'orbite: il s'en faut peu qu'il soit perpendiculaire. Aussi les saisons y sont-elles peu variées pour un même lieu, circonstance qui, jointe à leur durée considérable, doit rendre la météorologie de cette planète bien différente de celle de notre globe. L'année de Jupiter vaut près de 12 de *nos* années; mais, comme la durée du jour y est seulement

de 10 heures, il en résulte qu'elle se compose de 10 477 jours solaires joviens. La faible inclinaison de l'équateur produit des variations peu considérables et d'ailleurs très-lentes, dans la durée relative des jours et des nuits, sauf dans les régions voisines des pôles, où le jour et la nuit atteignent des longueurs de près de six de nos années.

Jupiter a une atmosphère qu'on croit très-épaisse. Les bandes brillantes de son disque sont probablement des masses nuageuses, dont la direction parallèle à l'équateur est causée par des vents analogues à nos vents alizés.

Jupiter est entouré de quatre satellites qui apparaissent dans les lunettes, comme de petites étoiles oscillant de part

Fig. 112. Jupiter accompagné de ses satellites.

et d'autres de son disque. Elles passent périodiquement soit en avant, soit en arrière du disque ou dans le cône d'ombre que la planète projette dans l'espace, et disparaissent alors à la vue. Ces phénomènes ne sont autre chose que des éclipses.

Voici les noms, les distances et les durées des révolutions des quatre satellites de Jupiter :

	Distances en rayons de Jupiter.	Distances en lieues de 4 kil.	Durées des révolutions.
Io.....	6.05	107 200	31 jours 18h 27m
Europa.....	9.62	170 700	3 — 13 14
Ganymède...	15.35	272 000	7 — 3 43
Callisto.....	27.00	485 000	16 — 16 32

Seul, le second satellite est moins volumineux que notre Lune. Ganymède, le plus gros de tous, dépasse des deux tiers le volume de la planète Mercure.

Les satellites de Jupiter, observés avec soin dans de puis-

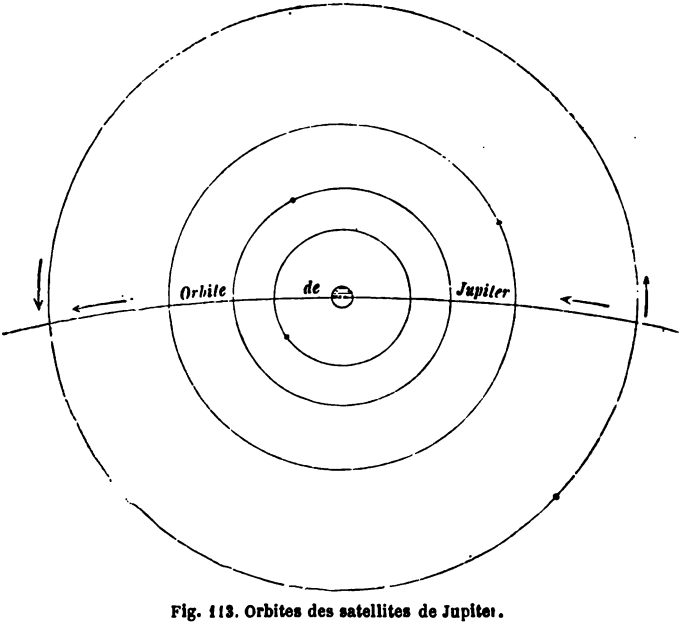


Fig. 113. Orbites des satellites de Jupiter.

sants instruments, ont laissé distinguer sur leurs disques des taches particulières, qui disparaissent et reparaissent périodiquement selon leurs positions par rapport à la Terre. On a pu, de la sorte, calculer la durée de leurs mouvements de rotation et reconnaître ainsi que ces durées sont respectivement égales à celles de leurs révolutions autour de la planète centrale. Cette curieuse similitude avec les mouvements du satellite de la Terre rend plus plausible encore l'explication que l'illustre auteur de la *Mécanique céleste* a *donnée, de* l'égalité que présentent leurs périodes.

SATURNE.

Si Jupiter est la plus volumineuse de toutes les planètes, Saturne est certainement la plus singulière, la plus merveilleuse. Non-seulement elle entraîne avec elle autour du Soleil tout un petit monde de huit satellites, mais elle possède encore un appendice étrange qui suffirait à la distinguer de tous les corps célestes connus : c'est un anneau, ou mieux plusieurs anneaux concentriques, entièrement indépendants du globe de Saturne et tournant autour de lui dans le plan de son équateur.

Nous avons vu que la distance de Saturne au Soleil, est en moyenne, neuf fois et demie environ la distance de la Terre : c'est à peu près 1400 millions de kilomètres, ou 350 millions de lieues. Mais son orbite étant elliptique comme toutes les orbites planétaires, il faut distinguer la distance moyenne des distances extrêmes : à l'aphélie, Saturne s'éloigne du Soleil jusqu'à 1 490 000 000 kil., et au périhélie, n'en est plus qu'à 1 330 000 000. Cette différence de 160 millions de kilomètres provient d'une excentricité qui est plus du triple de celle de l'orbite terrestre.

Pour parcourir cette courbe immense, Saturne met 10 759 jours, c'est-à-dire 29 ans 1/2 environ.

Le volume de Saturne vaut 755 fois celui de la Terre, et son diamètre est 9.107, quand on prend pour unité le diamètre équatorial de notre globe. Le rayon de la planète est donc de 116 000 kil. environ, ce qui donne 364 000 kil. pour la circonférence de son équateur.

Saturne est fortement aplati ; on évalue à $\frac{1}{10}$ l'excès du diamètre équatorial sur le diamètre polaire : c'est une différence de 11 600 kil. ou 2900 lieues entre les deux diamètres. Sa grande distance à la Terre ne lui permet pas de présenter des phases.

En observant Saturne au télescope, W. Herschel a reconnu que son disque est sillonné de bandes alternativement sombres et lumineuses ; puis, comme elles offraient en quelques-uns de leurs points des irrégularités, revenant périodi

quement, il a pu en déduire la durée du mouvement de rotation de la planète. Cette durée, un peu plus grande que celle de Jupiter, est de dix heures et demie. Ainsi le jour et la nuit se succèdent sur l'équateur de Saturne, de 5 en 5 heures environ, et son année ne comprend pas moins de 24 630 jours solaires saturniens.

L'axe de rotation est incliné d'environ 64 degrés sur le

Fig. 114. Saturne et la Terre ; di ensions comparées.

plan de l'orbite : c'est un peu moins que l'inclinaison de l'axe terrestre. Saturne présente donc au Soleil, comme la Terre, alternativement chacun de ses pôles, d'où résultent des saisons analogues aux nôtres. Mais la longue durée de la révolution fait que les variations de température, ainsi que celles des durées relatives des journées et des nuits s'y produisent avec une grande lenteur. Chaque saison de Saturne *dure plus de 7 de* nos années. A la grande distance où il se

trouve du Soleil, la lumière et la chaleur de cet astre n'y parviennent plus qu'avec une intensité égale à 0.011, celle relative à la Terre étant prise pour unité.

C'est à Huygens qu'est due la découverte de l'anneau de

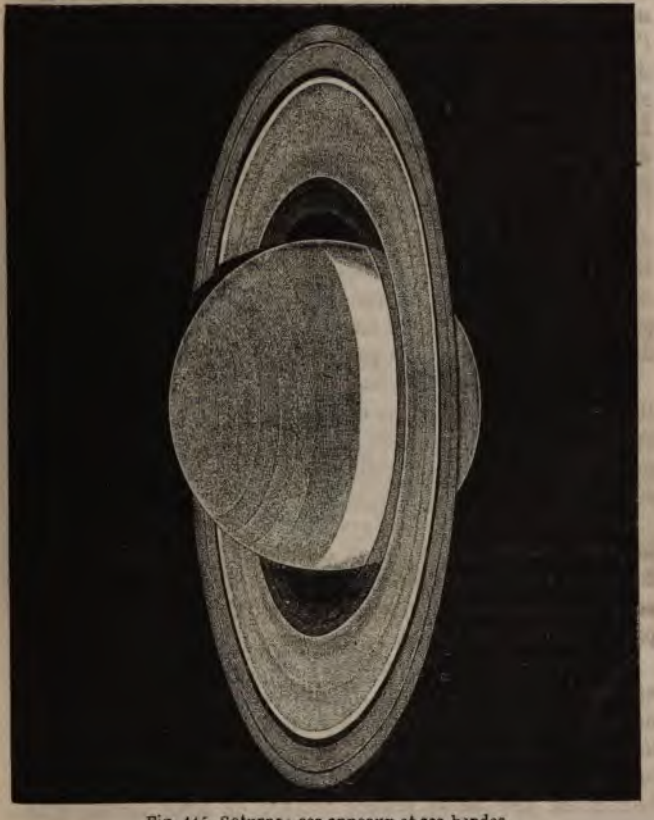


Fig. 115. Saturne; ses anneaux et ses bandes.

Saturne. Ce singulier appendice avait été précédemment observé; Galilée et après lui Hévélius avaient cru voir que la planète était triple. Mais le perfectionnement des télescopes

ne laissa plus de doutes sur la véritable nature de l'anneau. Voici quelles sont les connaissances actuelles sur ce sujet :

Tout autour de Saturne, et à peu près dans le plan de son équateur, s'étend un système de trois anneaux d'inégales largeurs et d'une épaisseur relativement très-mince. L'anneau extérieur le plus éloigné de la planète est séparé de l'anneau intermédiaire par un vide qui rend ces deux appendices indépendants l'un de l'autre, tandis que l'anneau intérieur, leplus rapproché de Saturne, paraît contigu au second. Leurs nuances sont aussi très-diverses ; l'anneau intermédiaire, le plus brillant des trois, est plus lumineux que le globe de Saturne ; l'anneau extérieur offre une teinte grisâtre, à peu près de la même nuance que les bandes obscures du disque. Tous les deux sont opaques et projettent sur Saturne une ombre très-prononcée. L'anneau intérieur, au contraire, est obscur et transparent. Il se détache devant le globe de Saturne comme une bande sombre, mais au travers de laquelle on aperçoit la partie lumineuse du disque.

Il y a donc autour de Saturne trois anneaux distincts, mais le premier et le troisième offrent des subdivisions qui porteraient à cinq le nombre de ces appendices singuliers, si l'on pouvait assurer que ces divisions accusent une séparation réelle.

Les dimensions de ce système sont considérables : les largeurs réunies des anneaux équivalent au rayon même de Saturne, c'est-à-dire à près de 60 000 kil. Mais leur épaisseur est relativement très-faible : W. Herschel ne l'évaluait pas à plus de 100 lieues.

Vus de la Terre, les anneaux de Saturne présentent des aspects très-variés : tantôt ils apparaissent comme un large ovale lumineux qui enveloppe presque toute la planète ; tantôt se rétrécissant peu à peu, ils ne laissent voir qu'un sillon lumineux débordant le disque, ou même disparaissent tout à fait. Il est aisé de se rendre compte de cette variété d'apparences.

Dans son mouvement autour du Soleil, l'axe de Saturne reste parallèle à lui-même. Il en est donc de même de ses *anneaux, et,* comme leur inclinaison sur le plan de l'orbite

est loin d'être nulle, il en résulte que le Soleil éclaire tantôt l'une des faces du système, tantôt l'autre. En deux positions diamétralement opposées, le Soleil n'éclaire plus l'anneau que par sa tranche : c'est alors l'époque des équinoxes de Saturne

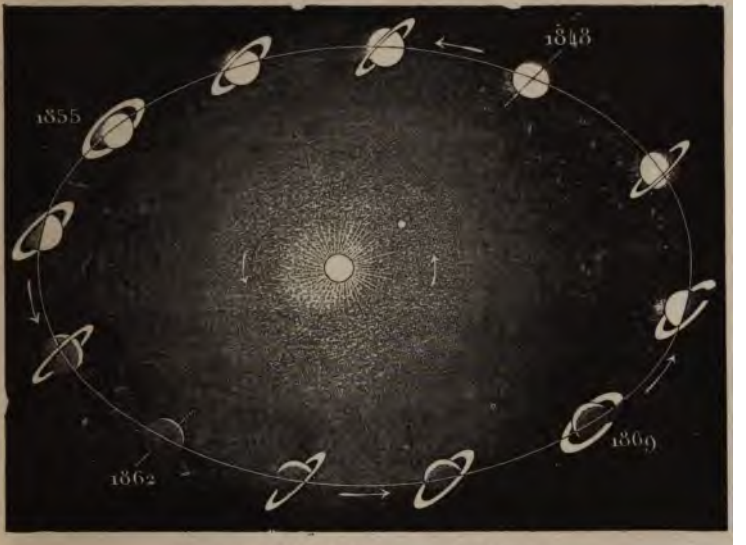


Fig. 116. — Phases des anneaux de Saturne.

Que résulte-t-il, pour la Terre, de ces positions diverses? Évidemment que les anneaux, par des effets de perspective, dont la figure 116 peut rendre aisément compte, apparaissent tantôt plus, tantôt moins ouverts; pendant une moitié de l'année de la planète, la partie antérieure de l'appendice se projette sur l'hémisphère nord; pendant l'autre moitié, la courbure est en sens inverse, et nous voyons le bord recouvrir une partie de l'hémisphère sud. Enfin, à deux époques, l'anneau n'étant plus éclairé que par la tranche, disparaît à peu près entièrement. Les instruments les plus puissants

montrent alors une légère ligne lumineuse dans le prolongement de l'équateur de Saturne, et sur le disque une ligne obscure.

Saturne, outre le système de ses anneaux, possède huit

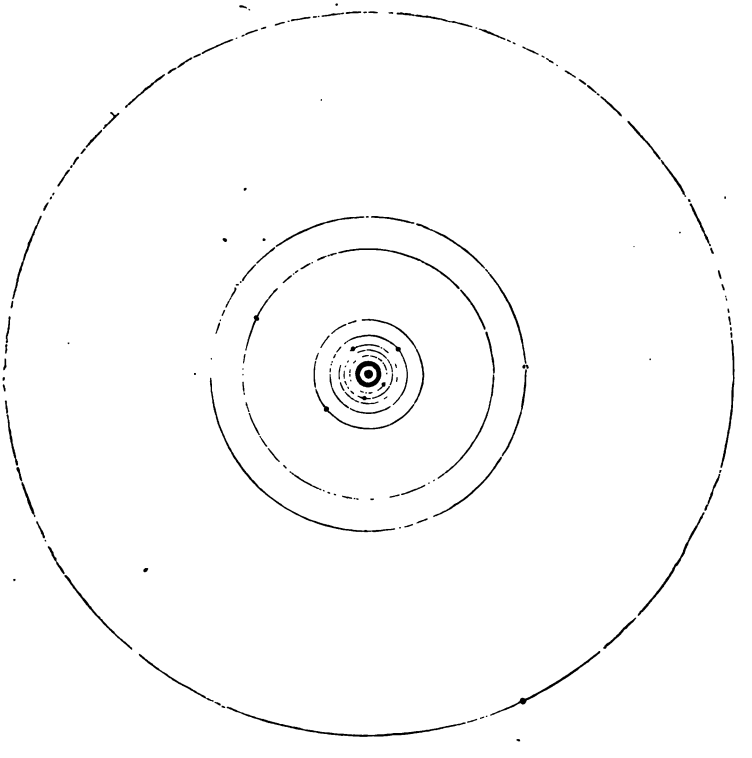


Fig. 117. Orbites des satellites de Saturne.

satellites ou lunes, dont voici les noms, les distances au centre de la planète et les durées des révolutions sidérales :

	Distances en rayons de Saturne.	Distances en kil.	Durées des révolutions.
Mimas.....	3.36	390 000	0 22h 37m
Encelade	4.31	500 000	1 8 53
Tethys.....	5.34	620 000	1 21 18
Dione	6.84	793 000	2 17 41
Rhea.....	9.55	1 110 000	4 12 25
Titan.....	22.14	2 570 000	15 22 41
Hyperion	26.78	3 100 000	21 7 8
Japet.....	64.36	7 500 000	79 7 54

Le plus brillant et le plus volumineux de ces huit satellites est Titan, qui a l'éclat d'une étoile de 8e grandeur ; viennent ensuite Japet, Rhea et Mimas; les 5 autres sont trop faibles pour qu'on ait pu mesurer leurs diamètres.

Titan a 5300 kil. de diamètre, ce qui lui donne un volume plus de trois fois aussi grand que le volume de la Lune.

URANUS.

Les anciens ne connaissaient pas d'autres planètes que celles que nous venons de décrire : ils ne connaissaient non plus ni les satellites de Jupiter, ni ceux de Saturne. En 1610, Galilée découvrait les satellites de Jupiter et en 1655, Huygens, le 4e satellite de Saturne. Mais il y a moins d'un siècle que le monde solaire s'est trouvé enrichi d'une planète nouvelle par la découverte d'Uranus.

C'est le 13 mars 1781, entre 10 et 11 heures du soir qu'Herschel, occupé à explorer avec son télescope la constellation des Gémeaux, y découvrit une étoile dont le diamètre considérable fixa son attention. Il reconnut bientôt que le nouvel astre se déplaçait, et le prit d'abord pour une comète. Les observations, soumises au calcul par les géomètres, finirent par démontrer qu'il s'agissait là d'un corps dont la grande distance au Soleil et l'orbite presque circulaire ne pouvaient laisser de doute sur sa nature : c'était bien une véritable planète.

Uranus a le plus souvent, — cela dépend de sa distance à la Terre — l'éclat d'une étoile de sixième grandeur. Il est

donc généralement visible à l'œil nu. C'est là du reste une petitesse toute relative qui tient à l'immense distance où il se trouve moyennement du Soleil et par suite de la Terre, et à la faible intensité de la lumière que le premier de ces astres lui envoie. Mais si on l'examine avec une lunette d'un fort pouvoir grossissant, la forme circulaire du disque apparaît avec netteté, et son diamètre apparent devient susceptible de mesure.

L'orbite décrite par Uranus autour du Soleil enveloppe l'orbite de la Terre à une si grande distance, qu'il est impossible d'apercevoir dans le disque de la planète aucune apparence de phases. Elle tourne pour ainsi dire toujours vers nous sa moitié éclairée.

Cette orbite n'est pas un cercle parfait, mais bien, comme celles des autres planètes, une courbe ovale, de sorte que, pendant tout le cours de sa révolution qui dure environ 84 ans — plus exactement 30 688 jours — la distance d'Uranus au Soleil varie sans cesse, s'élevant au maximum à 740 millions de lieues, au minimum, à 675 millions, en moyenne à 708 millions. C'est, on le voit, une différence de 65 millions de lieues entre ses distances aphélie et périhélie.

De la distance d'Uranus et de ses dimensions apparentes, on a conclu ses dimensions réelles, qui en font un corps sphéroïdal 72 fois aussi volumineux que notre Terre: le diamètre de son globe est 4.16, celui de la Terre étant pris pour unité. C'est 13 000 lieues environ pour le diamètre, 41 500 lieues pour la périphérie de la planète. La figure 118 montre les grosseurs comparées d'Uranus et de la Terre.

Fig. 118. Uranus et la Terre; dimensions comparées.

Les astronomes ne sont pas d'accord sur la question de savoir si le globe d'Uranus est parfaitement sphérique ou s'il *est aplati à ses pôles* de rotation. W. Herschel affirmait ce

dernier fait, et Mædler a déterminé, il y a quelques années, un aplatissement d'un dixième, qui laisserait supposer une grande vitesse dans le mouvement de rotation d'Uranus sur son axe.

Quant à la durée de cette rotation, elle est inconnue, le disque d'Uranus ne laissant voir, à cette distance, aucune particularité, aucune tache.

Uranus est le centre des révolutions de 4 satellites ou lunes. On avait cru en voir 6 et même 8; mais des observations récentes dues à l'astronome Lassell ne paraissent pas laisser de doutes sur l'exactitude du premier nombre. Voici leurs noms, leurs distances au centre d'Uranus, et les durées de leurs révolutions :

	Distances en rayons d'Uranus.	Distances en kilomètres.	Durées des révolutions.
Ariel.....	7.44	197 000	2 12h 28m
Umbriel.....	10.37	274 500	4 3 27
Titania.....	17.01	450 000	8 16 52
Oberon.....	22.75	602 000	13 11 6

NEPTUNE.

A une distance moyenne du Soleil de 1 107 000 000 de lieues, c'est-à-dire de plus de trente fois le rayon de l'orbite de la Terre, circule la plus éloignée des planètes connues du système. L'orbite presque circulaire qu'elle décrit autour du foyer commun est si étendue, qu'elle ne met guère moins de 165 ans à accomplir sa révolution totale.

Cette planète est Neptune. Vingt ans à peine nous séparent de l'époque où elle a été vue pour la première fois, de sorte qu'elle n'a pas encore parcouru sous nos yeux la huitième partie de son orbite. La date récente de sa découverte et l'immense éloignement où la planète se trouve de la Terre expliquent donc aisément le peu de données qu'on possède sur Neptune. Mais un autre genre d'intérêt vient en partie compenser cette insuffisance : je veux parler de la méthode même qui a servi de base à la découverte de la planète et qui

en fait jusqu'à présent un objet unique dans les annales de l'astronomie.

On sait que parmi les corps, aujourd'hui connus, dont l'ensemble forme le système solaire, huit seulement avaient été distingués par les anciens de la multitude des points brillants qui parsèment la voûte céleste ; les dimensions des uns, le Soleil, la Lune et la Terre, le mouvement propre des autres, Mercure et Vénus, Mars, Jupiter et Saturne au milieu des constellations, furent les caractères particuliers de cette distinction.

Plus tard, le télescope agrandit le champ de la vision de l'homme, et permit à l'astronomie moderne de joindre au groupe de ces huit astres un nombre assez considérable d'astres nouveaux. Uranus, les petites planètes, les satellites de Jupiter, de Saturne et d'Uranus furent successivement rangés dans la famille primitive. Mais, pour découvrir tous ces corps célestes, quelle fut la méthode employée? Une attentive et minutieuse révision de toutes les parties du ciel étoilé, la comparaison des cartes célestes et du champ d'un instrument d'optique, la reconnaissance fortuite du déplacement d'un point lumineux. Dans tout cela, nulle prévision fondée sur la théorie, aucune idée préconçue sur la future découverte, due au zèle persévérant et à d'heureux hasards.

La méthode qui a présidé aux recherches et à la reconnaissance définitive de Neptune fut tout autre

La théorie de la gravitation démontre et l'observation confirme ce fait général, à savoir que les diverses planètes agissent les unes sur les autres et se troublent mutuellement dans leurs mouvements autour du Soleil ; ces perturbations sont d'autant plus sensibles que les masses de ces corps célestes sont plus considérables. On a pu, à l'aide de ce principe, faire voir comment les perturbations observées se rattachent aux lois mêmes qui régissent les mouvements planétaires.

Néanmoins, dans le nombre de ces perturbations, il en était dont l'explication théorique ne semblait pas possible, et que les astronomes avaient essayé en vain de rattacher aux influences des corps célestes connus. Les tables construites pour la planète Uranus, ne s'accordaient point avec les ob-

servations : la marche de cet astre était troublée par une cause inconnue.

Cette cause était néanmoins depuis quelque temps soupçonnée par Bouvard, Hansen et plusieurs autres astronomes géomètres. Mais la solution complète du problème fut l'œuvre d'un savant aujourd'hui célèbre, de M. Le Verrier. C'est à lui que revient l'honneur d'avoir déterminé par des calculs, tout entiers basés sur la théorie de la gravitation universelle, les éléments approximatifs d'une planète jusqu'alors inconnue, à l'action de laquelle il fallait attribuer les anomalies apparentes de la marche d'Uranus.

Le résultat des recherches théoriques de M. Le Verrier fut publié le 31 août 1846. Moins d'un mois après, un astronome de Berlin, M. Galle, découvrit Neptune à peu de distance de la position assignée.

Neptune est invisible à l'œil nu. Il a, dans les lunettes l'aspect d'une étoile de huitième grandeur. En mesurant le diamètre apparent de son disque, on a pu déterminer ses dimensions réelles et reconnaître que son diamètre est 4.38, quand on prend celui de la Terre pour unité. Évalué en kilomètres, ce diamètre en vaut près de 56 000, ce qui donne un développement de 175 000 kilomètres à la circonférence de son équateur. L'aplatissement du globe est inconnu. Son volume n'est pas moindre de 84 fois le volume de la Terre.

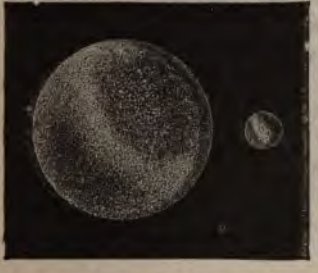


Fig. 119. — Neptune et la Terre ; dimensions comparées.

Neptune a un satellite qui effectue sa révolution autour de lui en 5 jours 21 heures.

En résumant tout ce que nous venons de dire des huit planètes principales, on voit qu'il est permis de les considérer comme formant deux groupes distincts, différant entre eux

sous plusieurs rapports, et dont les planètes composantes ont de part et d'autre d'assez nombreuses analogies.

Mercure, Vénus, la Terre et Mars forment le premier de ces groupes : ce sont les planètes moyennes. Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune forment le second groupe, celui des grosses planètes. En effet, sous le rapport des volumes, les quatre premières sont de beaucoup inférieures aux quatre autres : les volumes réunis de celles-ci font près de 1100 fois les volumes des planètes moyennes.

Les mouvements de rotation du groupe le plus voisin du Soleil ont presque la même durée, d'à peu près 24 heures. Les grosses planètes tournent plus rapidement, du moins si l'on en juge par la durée des rotations de Jupiter et de Saturne, par le mouvement probablement aussi rapide d'Uranus. Aussi l'aplatissement de leurs globes est-il beaucoup plus considérable. Cette coïncidence de l'augmentation de l'aplatissement avec celle des vitesses de rotation justifie l'hypothèse de la fluidité primitive des planètes.

Enfin, il est encore un caractère qui différencie les deux groupes des moyennes et grosses planètes ; c'est celui de leurs densités. La mécanique céleste donne une évaluation approchée des masses respectives de la Terre, du Soleil et des planètes. En rapportant ces masses aux volumes, on trouve la densité moyenne de la matière qui compose chacun de ces corps. Or, si l'on prend pour unité la densité de la Terre, on trouve pour les planètes principales les nombres suivants :

	Densites.		
Mercure.....	1.588	Jupiter.....	0.244
Vénus.....	1.065	Saturne.....	0.133
La Terre.....	1.000	Uranus	0.240
Mars.....	0.780	Neptune	0.240

Les 4 premiers nombres se rapprochent beaucoup les uns des autres ; il en est de même des 4 derniers, qui sont chacun, en moyenne, 5 fois plus petits que ceux du premier groupe.

Nous allons voir maintenant que les dénominations de planètes moyennes et de grosses planètes sont justifiées par

l'existence d'une multitude de planètes fort petites qui séparent précisément le premier groupe du second.

VI

LES PETITES PLANÈTES. — LES AÉROLITHES. — LA LUMIÈRE ZODIACALE.

Nous avons déjà dit qu'avant la seconde moitié du dix-huitième siècle, le nombre des planètes connues n'était que de six. La découverte d'Uranus porta ce nombre à sept. Enfin, le premier jour du dix-neuvième siècle, le 1er janvier 1801, l'astronome Piazzi découvrit une planète nouvelle à laquelle fut donnée le nom de Cérès, et qui, circulant autour du Soleil à une distance comprise entre celles de Mars et de Jupiter, parut venir combler précisément la lacune signalée entre ces deux dernières planètes par Titius et Bode [1].

La découverte de Cérès fut suivie, de 1802 à 1807, de celles de trois autres planètes, Pallas, Junon et Vesta, les deux premières situées, comme Cérès, entre Jupiter et Mars, et à des distances du Soleil peu différentes, paraissaient confirmer l'hypothèse, émise alors, que c'était les débris d'une plus grosse planète qui avait fait jadis explosion dans ces régions du ciel.

Jusqu'en 1845, le nombre des petites planètes se réduisit aux quatre que nous venons de nommer ; mais depuis, les découvertes se sont multipliées, et il est rare qu'une année se

1. On nomme loi de Bode ou de Titius une relation empirique qui paraissait exister entre les distances des principales planètes au Soleil. Si l'on pose la suite des nombres : 0, 3, 6, 12, 24, 48, 96, 192, et qu'on ajoute 4 à chacun des termes, on trouve : 4, 7, 10, 16, 28, 52, 100, 196, qui représentent à peu près les distances au Soleil de Mercure, Vénus, la Terre, Mars, — Jupiter, Saturne et Uranus. On voit qu'entre Mars et Jupiter il y a une lacune, et c'est cette lacune que vint combler la découverte de Cérès. Mais la distance de Neptune est 300, tandis qu'elle devrait être 388, si la loi en question était autre chose qu'une relation fortuite.

passe, sans qu'on en trouve de nouvelles. On en connaît aujourd'hui 94 (octobre 1867).

Dans l'état actuel des connaissances relatives à ces petits astres, les 94 petites planètes forment une agglomération tout entière comprise dans une zone située entre Mars et Jupiter, mais principalement dans la moitié de l'intervalle la plus voisine de la planète Mars.

Leurs orbites sont tellement entrelacées qu'un astronome contemporain, M. d'Arrest, y trouve la preuve évidente d'une commune origine : « Un fait, dit-il, semble surtout confirmer l'idée d'une liaison intime qui rattacherait entre elles toutes les petites planètes ; c'est que, si l'on se figure leurs orbites sous la forme de cerceaux matériels, ces cerceaux se trouveront tellement enchevêtrés qu'on pourrait, au moyen de l'un d'entre eux pris au hasard, soulever tous les autres. » A l'époque où ces lignes étaient écrites, on ne connaissait encore que 14 petites planètes ; depuis, parmi les nouvelles planètes découvertes, 66 sont venues se placer dans l'intervalle des deux extrêmes. La comparaison de d'Arrest, et la conséquence qu'il en tire, acquièrent donc par cela même un nouveau degré d'évidence.

La largeur de la zone qui comprend les orbites des petites planètes est d'environ 180 millions de kilomètres ou 45 millions de lieues. Dans cet intervalle même, les planètes sont très-irrégulièrement distribuées, puisqu'on en compte 71 dans la moitié de la zone située du côté de Mars, 18 seulement dans l'autre moitié. Il résulte de ces nombres que les orbites des 82 petites planètes les plus rapprochées du Soleil ne sont séparées en moyenne les unes des autres que de la faible distance de 320 000 lieues, un peu plus de trois fois la distance de la Lune à la Terre.

La forme de leurs orbites est elliptique, comme celle de toutes les orbites planétaires. Mais leurs excentricités sont pour la plupart assez considérables : ainsi l'orbite de la planète Polymnie est si allongée, que sa distance aphélie surpasse la distance périhélie de plus du tiers de la distance moyenne.

Les plans des orbites sont très-diversement inclinés les

uns sur les autres, ainsi que sur le plan de l'écliptique. Pallas a une inclinaison de 34 degrés sur ce dernier plan, de sorte qu'à l'époque de ses plus grandes latitudes, elle dépasse de beaucoup les anciennes limites de la zone du zodiaque.

La plus rapprochée du Soleil des 94 petites planètes est Flore, dont la distance moyenne est 2.202, celle de la Terre étant prise pour unité. La plus éloignée est Maximiliana, dont la distance moyenne est 3.420. Ces deux nombres évalués en lieues métriques, donnent respectivement 81 millions et 126 millions de lieues.

Les durées des révolutions varient entre 1193 et 2310 jours moyens, c'est-à-dire entre 3 ans 3 mois et 6 ans 4 mois environ, qui marquent les longueurs des années de Flore et de Maximiliana.

On a peu de données sur la constitution physique ou les dimensions de ces petits astres. Les quatre plus volumineux paraissent être les premières planètes découvertes, dans l'ordre suivant : Pallas, Junon, Vesta et Cérès. La fig. 120 donne

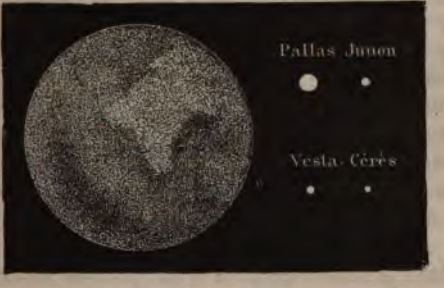


Fig. 120. — Dimensions comparées de la Terre et des planètes Pallas, Junon, Vesta et Cérès.

une idée des dimensions de ces planètes comparées à la grosseur de la Terre.

C'est Vesta qui est la plus brillante de toutes. La petitesse de presque toutes les autres est telle, qu'on n'a pu mesurer directement leurs diamètres ; elles apparaissent, dans les lu-

nettes, comme des points lumineux sans diamètre sensible. Il est probable que les moins gros de ces astres microscopiques ont à peine quelques lieues de rayon, ce qui rend leur étendue superficielle inférieure à celle d'un de nos plus petits départements. M. Lespiault, à qui j'emprunte cette comparaison, ajoute qu'un bon marcheur ferait aisément dans sa journée le tour de plusieurs de ces globes en miniature.

Les petites planètes forment, ainsi qu'on vient de le voir, une sorte d'anneau intermédiaire entre les deux groupes des grosses planètes et des planètes moyennes. Or, il paraît certain qu'indépendamment de cette agglomération, d'autres anneaux, formés de corpuscules plus petits et beaucoup plus nombreux, circulent autour du Soleil, à une distance à peu près égale à la distance de la Terre.

Ces corpuscules ne sont pas ordinairement visibles. C'est seulement quand ils viennent à rencontrer la Terre, que leur existence se manifeste à nous. Tantôt, ils ne font que traverser rapidement les couches supérieures de l'atmosphère, sans s'arrêter dans leur course : ce sont les *étoiles filantes*. Tantôt, attirés par la masse de notre globe, ils se précipitent à la surface, où l'on peut en recueillir les débris : ce sont les *aérolithes*.

Le nombre des étoiles filantes est très-variable selon les époques de l'année : de là, la distinction faite par les astronomes entre les étoiles filantes disséminées ou *sporadiques*, et les essaims de ces météores qui apparaissent dans le ciel de nos nuits, en masses pressées, et généralement périodiques.

Les deux périodes les plus remarquables sont celles d'août et de novembre, vers le 10 ou le 12 de chacun de ces mois. Le nombre des étoiles filantes observées à ces deux époques est souvent considérable, mais il est aussi sujet à des variations dont les périodes de maximum et de minimum sont encore mal déterminées.

Le plus souvent, les lignes décrites par les étoiles filantes ont l'apparence de lignes droites. L'impression lumineuse laissée dans le ciel par leur mouvement rapide permet de

vérifier aisément cette circonstance. Mais il y a des exceptions à ce fait général, et l'on a vu des étoiles de ce genre décrire, avant de disparaître, des courbes sinueuses.

Leur éclat est aussi très-variable : quelques-unes ont surpassé en grandeur apparente les étoiles permanentes les plus brillantes, et même Vénus et Jupiter. Leur couleur varie pareillement. Sur un nombre donné d'étoiles filantes observées, on a trouvé que les deux tiers environ étaient blanches, tandis que le jaune, le jaune rouge et le vert caractérisaient l'autre tiers.

On a pu déterminer les hauteurs d'un assez grand nombre d'étoiles filantes au moment de leur apparition, et l'on a trouvé des nombres très-différents, depuis 8 jusqu'à 60 et même 100 kilomètres. Leur vitesse est aussi très-variable, mais en général elle est considérable, atteignant et dépassant la vitesse de translation de la Terre dans son orbite. L'observation a constaté un fait d'une grande importance, qui jette une vive lumière sur l'origine des étoiles filantes et révèle leur nature cosmique. En étudiant la direction des routes tracées dans la voûte céleste par les étoiles filantes, on s'est aperçu que le plus grand nombre rayonnaient d'un même point de cette voûte, en se dirigeant d'ailleurs vers les parties les plus opposées et les plus diverses de l'horizon. L'étoile *Gamma* de la constellation du Lion est le point de départ des essaims de novembre, tandis qu'*Algol*, dans Persée, paraît être le centre rayonnant des étoiles périodiques du mois d'août. De plus, ces points restent les mêmes pour tous les horizons de la Terre.

Il faut conclure de là que les étoiles filantes sont des corps lumineux dont le mouvement est indépendant de la rotation de la Terre, dès lors, généralement situés en dehors de l'atmosphère ; et cette conclusion est singulièrement corroborée par cet autre fait, que les points rayonnants du Lion et de Persée sont précisément ceux vers lesquels se dirige notre globe dans son mouvement de translation autour du Soleil, aux deux époques de novembre et d'août.

Il est donc extrêmement probable que les apparitions d'étoiles filantes sont dues à la rencontre que fait la Terre

d'un ou de plusieurs anneaux composés de myriades d
corps, circulant comme les planètes autour du Soleil,
les mouvements parallèles, vus de la surface de la

Fig. 121. — Anneau de corpuscules météoriques circulant autour du Soleil

semblent diverger du point même du ciel où notre pla
se dirige. Telle serait, en effet, dans cette hypothèse l'app
rence des trajectoires de ces corps, d'après les lois de
perspective.

Les *bolides* sont des masses lumineuses de forme
laire ou plutôt sphérique, et d'un diamètre apparent

ible. Comme les étoiles filantes ils apparaissent tout à coup, nais en général ils se meuvent plus lentement et disparaissent u bout de quelques secondes. Leur lumière est ordinairement noins vive, mais leurs dimensions apparentes beaucoup plus onsidérables suffisent pour compenser cette différence d'in-ensité. L'illumination du paysage due à la présence d'un olide approche quelquefois de celle de la Lune. La plupart aissent derrière eux une traînée lumineuse, d'autres en utre se brisent en éclats, et parfois cette rupture est accom-agnée d'explosions semblables à des décharges d'artillerie.

Les apparitions de bolides sont beaucoup plus rares que lles des étoiles filantes; le nombre total des observations egistrées s'élevant tout au plus à mille, en y comptant lles dont les annales des peuples anciens ont gardé le ouvenir.

Circonstance curieuse, et qui semble prouver une parenté rigine entre les étoiles filantes et les bolides, les appari-ns de ces derniers météores sont plus fréquentes en août en novembre qu'aux autres époques de l'année, et le mbre total de juillet à décembre surpasse aussi celui des ides observés de décembre en juillet.

Les hauteurs des bolides, mesurées au-dessus de la surface ol, sont souvent très-considérables : elles varient entre 12 00 kilomètres. « Il faut donc en conclure — c'est Arago parle — que l'incandescence subite des bolides se pro-à bien au delà des régions où l'on suppose aujourd'hui que couches de l'atmosphère terrestre sont tellement raréfiées n doit y regarder comme impossible toute action de ces nents sur la matière des globes filants. »

s *aérolithes* ou pierres tombées du ciel, se rattachent ement à l'apparition des étoiles filantes et des bolides. rand nombre de faits viennent à l'appui de cette manière r. Citons-en quelques-uns. Le 26 avril 1803, à l'Aigle, ement de l'Orne, quelques minutes après l'apparition rand bolide, se mouvant du sud-est au nord-ouest et aperçut à Alençon, à Caen et à Falaise, une explosion ble, suivie de détonations pareilles au bruit du canon

d'un ou de plusieurs anneaux composés de myriades de petits corps, circulant comme les planètes autour du Soleil, et dont les mouvements parallèles, vus de la surface de la Terre,

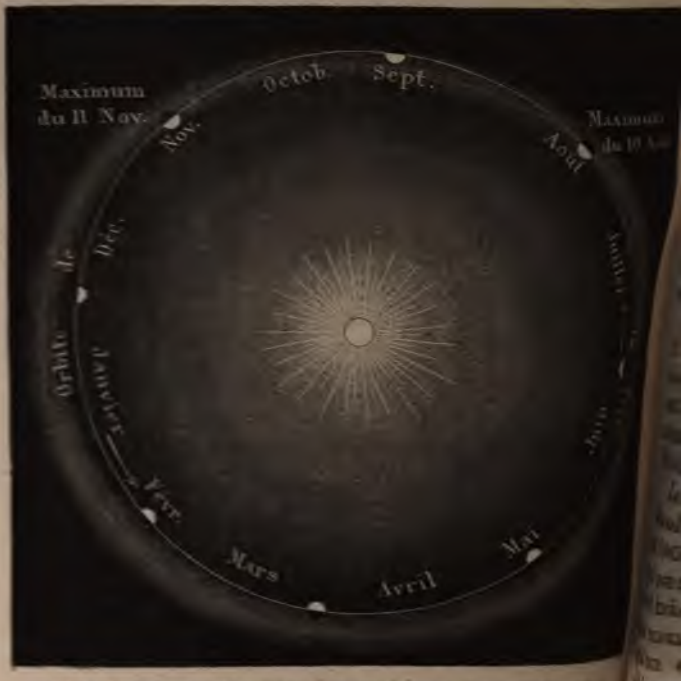


Fig. 121. — Anneau de corpuscules météoriques circulant autour du Soleil.

semblent diverger du point même du ciel où notre planète se dirige. Telle serait, en effet, dans cette hypothèse l'apparence des trajectoires de ces corps, d'après les lois de la perspective.

Les *bolides* sont des masses lumineuses de forme circulaire ou plutôt sphérique, et d'un diamètre apparent

sible. Comme les étoiles filantes ils apparaissent tout à coup, mais en général ils se meuvent plus lentement et disparaissent au bout de quelques secondes. Leur lumière est ordinairement moins vive, mais leurs dimensions apparentes beaucoup plus considérables suffisent pour compenser cette différence d'intensité. L'illumination du paysage due à la présence d'un bolide approche quelquefois de celle de la Lune. La plupart laissent derrière eux une traînée lumineuse, d'autres en outre se brisent en éclats, et parfois cette rupture est accompagnée d'explosions semblables à des décharges d'artillerie.

Les apparitions de bolides sont beaucoup plus rares que celles des étoiles filantes; le nombre total des observations enregistrées s'élevant tout au plus à mille, en y comptant celles dont les annales des peuples anciens ont gardé le souvenir.

Circonstance curieuse, et qui semble prouver une parenté d'origine entre les étoiles filantes et les bolides, les apparitions de ces derniers météores sont plus fréquentes en août et en novembre qu'aux autres époques de l'année, et le nombre total de juillet à décembre surpasse aussi celui des bolides observés de décembre en juillet.

Les hauteurs des bolides, mesurées au-dessus de la surface du sol, sont souvent très-considérables : elles varient entre 12 et 500 kilomètres. « Il faut donc en conclure — c'est Arago qui parle — que l'incandescence subite des bolides se produit bien au delà des régions où l'on suppose aujourd'hui que les couches de l'atmosphère terrestre sont tellement raréfiées qu'on doit y regarder comme impossible toute action de ces éléments sur la matière des globes filants. »

Les *aérolithes* ou pierres tombées du ciel, se rattachent intimement à l'apparition des étoiles filantes et des bolides. Un grand nombre de faits viennent à l'appui de cette manière de voir. Citons-en quelques-uns. Le 26 avril 1803, à l'Aigle, département de l'Orne, quelques minutes après l'apparition d'un grand bolide, se mouvant du sud-est au nord-ouest et on aperçut à Alençon, à Caen et à Falaise, une explosion foudroyable, suivie de détonations pareilles au bruit du canon

d'un ou de plusieurs anneaux composés de myriades de petits corps, circulant comme les planètes autour du Soleil, et dont les mouvements parallèles, vus de la surface de la Terre,

Fig. 121. — Anneau de corpuscules météoriques circulant autour du Soleil.

semblent diverger du point même du ciel où notre planète se dirige. Telle serait, en effet, dans cette hypothèse l'apparence des trajectoires de ces corps, d'après les lois de la perspective.

Les *bolides* sont des masses lumineuses de forme circulaire ou plutôt sphérique, et d'un diamètre apparent et sen-

sible. Comme les étoiles filantes ils apparaissent tout à coup, mais en général ils se meuvent plus lentement et disparaissent au bout de quelques secondes. Leur lumière est ordinairement moins vive, mais leurs dimensions apparentes beaucoup plus considérables suffisent pour compenser cette différence d'intensité. L'illumination du paysage due à la présence d'un bolide approche quelquefois de celle de la Lune. La plupart laissent derrière eux une traînée lumineuse, d'autres en outre se brisent en éclats, et parfois cette rupture est accompagnée d'explosions semblables à des décharges d'artillerie.

Les apparitions de bolides sont beaucoup plus rares que celles des étoiles filantes; le nombre total des observations enregistrées s'élevant tout au plus à mille, en y comptant celles dont les annales des peuples anciens ont gardé le souvenir.

Circonstance curieuse, et qui semble prouver une parenté d'origine entre les étoiles filantes et les bolides, les apparitions de ces derniers météores sont plus fréquentes en août et en novembre qu'aux autres époques de l'année, et le nombre total de juillet à décembre surpasse aussi celui des bolides observés de décembre en juillet.

Les hauteurs des bolides, mesurées au-dessus de la surface du sol, sont souvent très-considérables : elles varient entre 12 et 500 kilomètres. « Il faut donc en conclure — c'est Arago qui parle — que l'incandescence subite des bolides se produit bien au delà des régions où l'on suppose aujourd'hui que les couches de l'atmosphère terrestre sont tellement raréfiées qu'on doit y regarder comme impossible toute action de ces éléments sur la matière des globes filants. »

Les *aérolithes* ou pierres tombées du ciel, se rattachent intimement à l'apparition des étoiles filantes et des bolides. Un grand nombre de faits viennent à l'appui de cette manière de voir. Citons-en quelques-uns. Le 26 avril 1803, à l'Aigle, département de l'Orne, quelques minutes après l'apparition d'un grand bolide, se mouvant du sud-est au nord-ouest et qu'on aperçut à Alençon, à Caen et à Falaise, une explosion effroyable, suivie de détonations pareilles au bruit du canon

et d'un feu de mousqueterie, partit d'un nuage noir isolé dans un ciel très-pur. Un grand nombre de pierres météoriques encore fumantes furent trouvées à la surface du sol, sur une étendue de terrain qui ne mesurait pas moins de 11 kilomètres, dans le sens de sa plus grande longueur. La plus grosse de ces pierres pesait moins de 10 kilogrammes.

Plus récemment, dans la soirée du 15 mai 1864, l'identité des aérolithes et des bolides a été mise hors de doute par l'apparition, l'explosion et la chute d'un splendide météore qui a pu être observé sur une grande étendue de la France. Un globe d'une lumière éclatante, laissant derrière lui une traînée blanchâtre, se sépara en plusieurs fragments semblables aux étoiles d'une fusée et disparut. Un bruit pareil au grondement prolongé du tonnerre suivit l'explosion de quelques minutes, et une pluie de pierres qui eut lieu sur une région d'environ deux lieues carrées permit d'examiner la nature de la substance d'origine extra-terrestre qui composait le bolide.

Les minéralogistes et les chimistes ont fait l'analyse des aérolithes avec un grand soin, et il a été reconnu que leur composition est à peu de chose près la même, quelle que soit la différence que présente leur aspect extérieur. L'oxygène, le soufre, le phosphore et le carbone, la silice et l'alumine, la potasse, la soude, des sulfures de fer, des parcelles de fer à l'état métallique et magnétique, d'autres métaux tels que le nickel, le cobalt, le manganèse, l'étain, le cuivre, etc., etc., ont été reconnues parmi les substances dont les aérolithes sont formés.

Il est digne de remarque qu'aucun des corps simples trouvés dans les pierres météoriques n'est étranger à notre planète. Les combinaisons chimiques de ces corps ne diffèrent pas non plus de celles que nous connaissons, si l'on en excepte toutefois deux ou trois composés, dont l'un, le schreiberzite, a été reproduit récemment par les procédés du laboratoire.

Nous avons encore à parler, pour achever la description

des corps qui composent le monde solaire, d'un phénomène dont la nature est évidemment cosmique et qui accuse aussi l'existence, autour du Soleil, d'un immense anneau de matière nébuleuse.

C'est principalement dans les soirées voisines de l'équinoxe du printemps, en mars ou avril, ou bien dans les matinées de l'équinoxe d'automne, avant le lever de l'astre, qu'on aperçoit une large lueur s'élevant en forme de cône dans le ciel étoilé.

C'est ce qu'on nomme la *lumière zodiacale*.

L'éclat dont brille cette lueur est comparable à celui de la Voie lactée, ou encore à la queue de certaines comètes, laissant voir au travers, par sa transparence, jusqu'aux plus petites étoiles. Cependant, selon Mairan qui s'est beaucoup occupé du phénomène, dans les jours les plus favorables à l'observation, sa lumière est plus intense que celle de la Voie lactée et plus uniforme ; moins blanche toutefois, et tirant un peu sur le jaune ou le rouge dans les parties les plus voisines de l'horizon. Ce n'est alors que vers les extrémités qu'il put apercevoir les petites étoiles sur lesquelles la lueur se projetait.

Parmi les explications qu'on a données de ce phénomène singulier, la plus vraisemblable est celle qui fait de la lumière zodiacale un anneau nébuleux aplati, entourant à une certaine distance le Soleil. Il est remarquable, en effet, que la direction de l'axe du cône ou de la pyramide, prolongée sous l'horizon, passe toujours par le lieu du Soleil. La figure 122 rend compte de l'apparence du cône lumineux au-dessus de l'horizon de nos climats.

On a cru d'abord que cette direction coïncidait précisément avec l'équateur solaire ; mais il paraît plus certain que c'est avec le plan de l'orbite de la Terre, ou de l'écliptique.

L'amplitude du grand axe de l'anneau est variable, ou si l'on veut, la distance du sommet du cône au milieu de sa base à l'horizon est plus ou moins considérable suivant les époques. Des considérations géométriques fort simples permettent d'en conclure que l'anneau lumineux tantôt s'étend jusqu'à l'orbite de la Terre, et même la dépasse, tantôt est ren-

fermé à l'intérieur de cette même orbite. Ce qu'on peut expliquer de deux manières, soit en admettant que la forme de l'anneau est elliptique ou ovale, soit, s'il est circulaire, en supposant qu'il est excentrique au Soleil.

Maintenant, de quelle nature est cette masse lumineuse?

Fig. 122. — Direction de l'axe de la lumière zodiacale.

Faut-il la considérer comme une zone de vapeurs abandonnées à l'origine par le Soleil, alors que notre étoile centrale passait de l'état de nébuleuse à celui d'une sphère fluide condensée? C'était là l'opinion de Laplace.

Une autre hypothèse, qui se rattache d'ailleurs à cette dernière, considérerait la lumière zodiacale comme formée *de myriades* de corpuscules solides, analogues aux aérolithes,

circulant dans un mouvement d'ensemble, mais séparément, autour du foyer de notre monde solaire. La lumière de l'anneau serait produite alors par l'accumulation de cette multitude de points brillants, réfléchissant vers nous la lumière empruntée par chacun d'eux au Soleil.

Cette explication rendrait compte de la variation d'intensité de la lumière zodiacale, à des époques différentes ; il suffirait d'admettre que la condensation des corpuscules ou la densité de l'anneau, n'est point la même dans toute son étendue, et que son mouvement de circulation autour du Soleil en présente successivement à la Terre les diverses parties. Dans ce cas, il resterait à examiner si cet anneau lenticulaire de matière est distinct de la zone d'aérolithes dont nous venons de parler, et dont l'existence paraît décidément admise dans la science.

CHAPITRE VII.

LES COMÈTES.

CARACTÈRES QUI DISTINGUENT LES COMÈTES DES PLANÈTES, — FORMES DES ORBITES COMÉTAIRES; INCLINAISONS DE LEURS PLANS SUR LE PLAN DE L'ÉCLIPTIQUE. — SENS RÉTROGRADE DES MOUVEMENTS D'UN GRAND NOMBRE DE COMÈTES. — COMÈTES PÉRIODIQUES. — COMÈTES D'ENCKE, DE GAMBART, D'HALLEY. — DESCRIPTION DE QUELQUES COMÈTES FAMEUSES. — POSSIBILITÉ DU CHOC DE LA TERRE PAR UNE COMÈTE. — LES COMÈTES SONT SANS INFLUENCE SUR LES SAISONS.

Le système solaire, outre le Soleil, les planètes et leurs satellites, comprend encore un nombre assez considérable d'astres qui se meuvent autour du foyer commun, mais qui se distinguent des planètes soit par la nature de leurs orbites, soit par des caractères physiques tout particuliers.

Ces astres sont les *comètes*.

Si l'on s'en rapporte à l'étymologie du mot, *comète* signifie astre *chevelu*. Le plus souvent, en effet, une comète apparaît comme une étoile dont le noyau lumineux est entouré d'une nébulosité plus ou moins brillante, à aquelle les astronomes donnaient autrefois le nom de *chevelure*.

Indépendamment de cette auréole vaporeuse, le noyau de l'astre est fréquemment accompagné d'une traînée dont la longueur varie d'une comète à l'autre ou pour une même comète : cette traînée lumineuse, cet appendice nébuleux est ce qu'on nomme la *queue* de la comète. La forme de la chevelure, ses dimensions apparentes et réelles, la forme et les

dimensions de la queue sont extrêmement variables. On a vu des comètes à deux et à plusieurs queues.

L'auréole vaporeuse qui, avec le noyau lumineux, forme la *tête* de la comète, la traînée unique ou les queues multiples dont la tête est accompagnée, peuvent-ils être considérés comme des caractères spécifiques des comètes? Tout astre qui en serait dépourvu doit-il être rangé dans une autre catégorie? Il n'en est rien.

Il existe, en effet, des comètes dépourvues de queues et de noyau brillant. D'autres ont un noyau entouré d'une nébulosité, mais n'offrent aucune apparence de queue.

Les comètes, avons-nous dit, font partie de notre monde solaire. Comme les planètes, elles circulent autour du Soleil, en parcourant avec des vitesses très-variables des courbes extrêmement allongées. C'est la forme des orbites cométaires qui va nous fournir le premier de leurs caractères spécifiques.

Tandis que les planètes aujourd'hui connues se meuvent le long de courbes fermées, presque circulaires, et restent ainsi continuellement visibles pour nous, sinon à l'œil nu, du moins avec l'aide des lunettes, la plupart des comètes circulent autour du Soleil en décrivant soit des ellipses extrêmement allongées, soit des courbes à branches infinies, ou qui, du moins, nous semblent telles. Il résulte de là que les comètes ne sont observables que dans une portion très-restreinte de leur parcours, lorsqu'elles se rapprochent le plus du Soleil et de la Terre. En outre, comme les durées de leurs révolutions sont d'autant plus considérables que les dimensions de leurs orbites le sont elles-mêmes davantage, il n'a été possible de constater le retour que pour un très-petit nombre de ces satellites du Soleil.

La figure 123 représente les trois genres de courbes décrites par les diverses comètes observées.

La première courbe, de forme ovale, ayant le Soleil à son foyer, est l'*ellipse*. Comme c'est une courbe fermée ou rentrante, si allongée soit-elle, il est clair que l'astre qui la suit doit revenir périodiquement, à des époques plus ou moins éloignées. La seconde est d'une forme qui a beaucoup d'ana-

logie avec l'ellipse. Elle s'en distingue néanmoins par ce fait que ses deux branches s'éloignent à l'infini et ne reviennent jamais sur elles-mêmes. C'est la *parabole*, mais il est possible et même probable que les comètes dont les orbites semblent paraboliques décrivent en réalité des ellipses extrê-

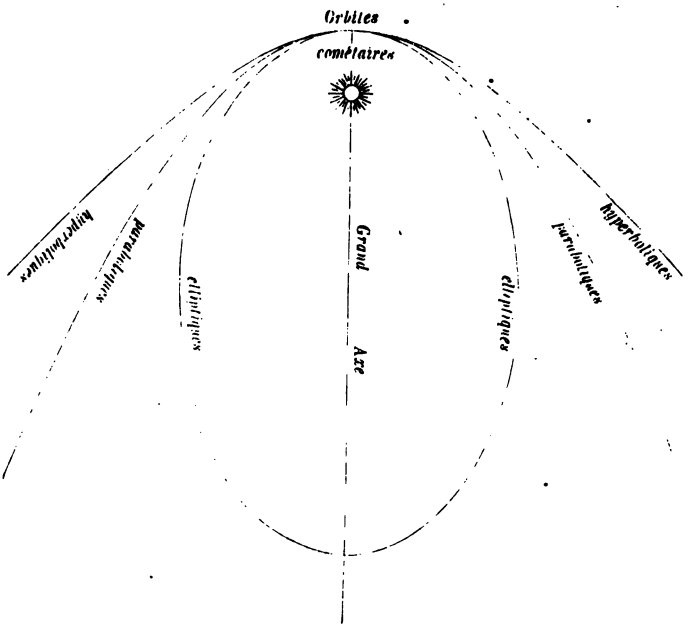


Fig. 123. — Formes des orbites cométaires. Ellipse, parabole, hyperbole.

mement allongées qui se confondent avec la parabole pendant la période entière de visibilité de l'astre. Dans ce cas, la durée des révolutions est si grande qu'on ne pourra jamais constater leur retour : mais, rigoureusement, ce retour peut avoir lieu.

Il n'en est plus de même, lorsque la comète décrit la troisième courbe, à laquelle les géomètres donnent le nom d'hy-

perbole. Les deux branches de l'hyperbole, non-seulement sont infinies, mais se distinguent essentiellement de l'ellipse, en ce qu'elles s'éloignent de plus en plus de la forme rentrante qui caractérise cette dernière courbe et avec laquelle une portion d'hyperbole ne peut jamais être confondue. Il paraît certain que quelques comètes se meuvent dans des orbites hyperboliques.

En nous bornant aux orbites cométaires des deux premiers genres, on voit que les comètes se distinguent des planètes par un premier caractère, qui est l'extrême allongement des courbes qu'elles décrivent autour du Soleil.

Il en est deux autres non moins importants que celui-là : en premier lieu, les inclinaisons des orbites, au lieu d'être renfermées comme celles des orbites planétaires entre de faibles limites, prennent toutes les grandeurs possibles entre 0° et 90° ; en second lieu, le sens du mouvement est tantôt celui de l'occident à l'orient, tantôt le sens contraire, ou si l'on veut, tantôt direct, tantôt rétrograde. Or, on doit avoir présent à la mémoire ce fait fondamental, que toutes les planètes du monde solaire se meuvent dans le même sens, c'est-à-dire de droite à gauche, ou d'occident en orient, pour un observateur placé sur la face septentrionale du plan de l'orbite de la Terre.

Parmi les comètes innombrables que l'observation a découvertes ou découvre encore chaque année, il en est un certain nombre dont les orbites elliptiques ont été déterminées; par conséquent, il a été possible de calculer les époques de leurs retours. Mais les périodes de révolution de ces astres sont la plupart si considérables, qu'elles se comptent par milliers, par centaines de milliers d'années, et que toute vérification est pour longtemps impossible.

Quelques-unes, toutefois, ont une période assez courte pour qu'on ait pu déjà constater l'achèvement de plusieurs révolutions par leurs retours successifs. C'est à ces dernières qu'on donne le nom de *comètes périodiques*.

Voici les éléments principaux des 9 comètes périodiques

aujourd'hui connues. On les distingue par les noms des astronomes qui ont reconnu et calculé leur périodicité :

	Durées des révolutions.	Distances au Soleil aphélies.	périhélies.	Époque du plus prochain retour.	
	ans	millions de kilom.			
Comète d'Encke.....	3.29	622.8	51.5	Octobre...	1868
— de Vico.....	5.46	764.4	177.0	—	1871
— de Winnecke..	5.54	—	—	Juin.....	1869
— de Brorsen....	5.58	864.0	103.0	Mai.....	1868
— de Gambart...	6.61	941.5	132.0	Septembre.	1872
— de D'Arrest...	6.64	—	—	Octobre...	1870
— de Faye.....	7.44	970.5	310.0	Août.....	1873
— de Méchain...	13.60	—	—	Octobre...	1871
— d'Halley.....	76.78	5150.0	90.0	.....	1910

Parmi ces neuf astres, trois nous paraissent mériter une mention spéciale :

C'est, en premier lieu, la comète d'Encke qu'on nomme aussi la comète à *courte période*. Depuis 1818, époque de la découverte, tous ses retours, au nombre de quatorze, ont été régulièrement constatés ; mais, chose singulière, la durée de sa révolution va en diminuant sans cesse; de sorte que, si cette diminution progressive suit toujours le même ordre, on pourra bientôt calculer l'époque où la comète ira, en décrivant une spirale, se plonger dans la masse incandescente ou dans l'atmosphère du Soleil. Ce rapprochement continu a été attribué à la résistance d'un milieu qui remplirait les régions de l'espace, voisines du foyer de notre monde.

La comète de Gambart ou de Biéla est remarquable par la transformation singulière qu'elle éprouva en 1846. A cette époque, elle apparut sous la forme de deux comètes, d'inégale grandeur, qui s'éloignèrent de plus en plus. En 1852, les deux comètes reparurent voyageant de concert, mais la distance des deux noyaux, qui était déjà de 60 000 lieues en 1846, s'élevait alors à un demi-million de lieues.

Les annales de l'astronomie avaient enregistré déjà de semblables transformations; mais comme il s'agissait de comètes qui n'ont point reparu, les savants hésitaient à croire à la réalité d'un fait sur lequel la comète de Gambart ne laisse désormais aucun doute.

Enfin, la comète de Halley, la première dont la périodicité ait été bien constatée, tant par le calcul que par l'observation, se distingue des autres par la longueur de sa période, la forme allongée de son orbite qui l'entraîne, à l'époque de son aphélie, jusque par delà l'orbite de Neptune. Elle doit son nom à un illustre astronome du dix-septième siècle. C'est à ce savant qu'on doit, en effet, l'identification de la comète

Fig. 124. — Comète de Gambart, d'après Struve.

de 1682 avec celles de 1531 et de 1607, et la prédiction de son retour pour la fin de 1758 ou le commencement de 1759.

L'événement justifia la prédiction. Bien plus, à cette dernière époque, l'astronomie cométaire s'éleva, par un coup d'essai qui fut son triomphe, à la hauteur des autres théories astronomiques. Un géomètre français, Clairaut, calcula quel devait être, sur la marche de la comète annoncée, l'effet des perturbations dues aux deux grandes planètes Jupiter et Saturne, dans le voisinage desquelles l'astre chevelu devait passer. Il assigna 618 jours de retard, 100 jours dus à l'action de Saturne, 518 à celle de Jupiter

Le retour de l'astre à son périhélie devait ainsi correspondre au milieu d'avril 1759, avec une incertitude d'un mois en plus ou en moins, incertitude provenant de termes que Clairaut, pressé par le temps, avait dû négliger dans son calcul.

Depuis, en 1835, la comète de Halley a reparu dans nos

Fig. 125. — Comète de Halley, vue à l'œil nu, le 24 octobre 1835.

régions; mais cette fois son passage fut prédit avec une précision telle, qu'il y eut seulement entre le calcul et l'observation trois jours de différence.

Parmi les nombreuses comètes observées, il en est très-peu qui soient visibles à l'œil nu et un plus petit nombre encore qui frappent le public par leurs grandes dimensions et l'éclat de leur lumière. Ce sont celles-là néanmoins qui présentent le plus d'intérêt par les phénomènes propres à jeter un certain jour sur leur constitution physique.

Parmi les comètes les plus remarquables des siècles passés, il faut citer la grande comète de 1500, que le peuple

d'Italie avait surnommée *il signor Astone;* la comète dite de Charles-Quint, de 1556, qui, selon les calculs des astronomes, ayant déjà paru en 1264, devait faire sa réapparition vers 1860, et n'a pas été revue ; celle de 1686 dont le noyau bril-

Fig. 126. — Tête de la comète d'Halley, d'après J. Herschel.

lait comme une étoile de première grandeur ; la comète de 1744, aux queues multiples, qui est connue sous le nom de comète de Chéseaux.

La période écoulée du dix-neuvième siècle est riche en brillantes comètes visibles à l'œil nu. Nous reproduisons ici quelques-unes des plus remarquables : c'est d'abord la grande comète de 1811, dont l'apparition a fait une sensation extraordinaire, et qui ne doit revenir qu'au bout de trente siècles. La nébulosité ne mesurait pas moins de 450 000 lieues de diamètre, tandis que le noyau lumineux n'embrassait guère que 171 lieues. La queue, de dimensions prodigieuses, atteignit une longueur de 45 millions de lieues.

La grande comète de 1843 est l'une des plus brillantes *qu'on ait observées* jamais. Non-seulement le noyau, mais

une portion de la queue fut visible en plein jour. Cette queue était en outre fort remarquable par sa longueur et plus encore par l'uniformité de sa largeur. C'est, de toutes les comètes connues, celle qui s'est le plus approchée du Soleil. Au

Fig. 127. — Comète de 1811.

moment de sa plus courte distance au centre du foyer de notre monde, le noyau n'était plus qu'à 190 mille lieues de ce centre, et par conséquent à douze mille lieues seulement de la surface du Soleil.

Dans ces dernières années, trois comètes visibles à l'œil nu ont été l'objet des observations les plus intéressantes.

La plus brillante de toutes, la comète de Donati, a fait son apparition en 1858. Aperçue à Florence, pour la première fois, le 2 juin, par l'astronome dont elle porte le nom, elle devint visible à l'œil nu vers les premiers jours de septembre

Fig. 128. — Comète de Donati ; octobre 1858, d'après Bond.

et bientôt se distingua, au milieu des constellations boréales, par l'éclat du noyau brillant et le magnifique développement de sa queue. Les comètes de 1861, 1862 et 1865 ont été aussi fort remarquées.

Les problèmes qui se rattachent à l'étude de la constitution physique des comètes sont nombreux et d'une solution difficile.

On peut se demander, en premier lieu, quelle est la nature de la matière qui les compose, si cette matière est entièrement gazeuze ou si les noyaux renferment des parties liquides ou même solides; quelle est leur masse, quelle est leur densité, si la queue est de même nature que la chevelure ou le noyau; en vertu de quelle influence se forment ces appendices singuliers, qui, presque nuls quand la comète est éloignée du Soleil, se développent à mesure qu'elle s'en approche, pour diminuer ensuite, et finalement disparaître dans la seconde moitié de l'orbite de l'astre, mais en présentant toujours cette circonstance remarquable que leur direction est à l'opposé du rayon vecteur qui joint le noyau de la comète au Soleil.

Vient ensuite la question de la lumière qui rend les comètes visibles dans l'espace. Les comètes brillent-elles d'un éclat qui leur est propre ; empruntent-elles leur lumière au Soleil, ou bien nous envoient-elles des rayons provenant à la fois de ces deux sources? D'autre part, peut-on conjecturer quelque chose de plausible sur leur température, sur les changements qu'apportent à cet élément les prodigieuses variations de distance qui sont la conséquence de l'extrême allongement de leurs orbites?

Enfin, quelle est la cause des modifications que subissent ces astres étranges, non-seulement d'une révolution à l'autre, mais, sous nos yeux mêmes, pendant la courte durée d'une apparition unique? Non-seulement, la queue se forme, se développe, diminue et disparaît, mais encore l'enveloppe même du noyau est sujette à de curieuses transformations.

A ces questions d'un grand intérêt, et, il faut le dire, encore bien obscures, s'en joignent d'autres qui ont eu, à plusieurs reprises, le privilége de captiver l'attention du public. La comète périodique de Gambart a failli, en 1832, rencontrer la Terre. Que fut-il résulté d'un pareil événement?

Il y a un siècle, les savants considéraient encore les comètes comme des astres dont la rencontre avec notre globe ou avec une planète quelconque pouvait amener pour ces derniers corps les plus funestes conséquences.

« Quand on considère le mouvement des comètes, dit

Lambert dans ses *Lettres cosmologiques*, et que l'on réfléchit sur les lois de la pesanteur, on s'aperçoit sans peine que leur approche de la terre pourroit y causer les événements les plus sinistres, y ramener le déluge universel, ou la faire périr dans un déluge de feu, la briser en menue poussière, ou du moins la détourner de son orbite, lui enlever sa lune, qui pis est, l'enlever elle-même, l'emporter au delà des régions de Saturne, et nous faire souffrir un hiver de plusieurs siècles, auquel ni les hommes, ni les animaux ne seroient capables de résister. Les queues mêmes des comètes ne seroient plus des phénomènes sans conséquence, si en s'éloignant de nous, les comètes les laissoient, en tout ou en partie, dans notre atmosphère. »

Aujourd'hui les astronomes semblent bien revenus de ces craintes. Non-seulement, selon eux, la probabilité du choc est si faible qu'il n'y a pas lieu de s'inquiéter d'un tel événement; mais encore la masse des comètes paraît une si petite fraction de la masse du globe terrestre, que le choc dont il s'agit serait tout à fait insensible.

Cette manière de voir s'appuie sur des considérations et sur des faits qui la rendent très-probable, du moins pour le plus grand nombre des comètes. Les perturbations énormes qu'elles subissent de la part des planètes, quand elles passent dans leur voisinage, sans influencer elles-mêmes les orbites planétaires d'une manière sensible, la diaphanéité de leurs noyaux dont quelques-uns ne peuvent masquer la lumière des étoiles les plus petites, prouvent bien que les masses de ces corps sont excessivement faibles, si on les compare aux masses des autres corps du monde solaire.

Mais en serait-il de même de toutes les comètes? A notre avis, il est au moins prudent de ne pas trop généraliser en pareille matière. S'il existe des comètes dont la nébulosité paraît entièrement gazeuze, et si diaphane que de petites étoiles sont restées visibles au travers de la chevelure, il en est d'autres dont le noyau est sans doute fort dense, puisque leur lumière était assez vive pour être perceptible en plein jour, même dans le voisinage du Soleil. On a évalué la masse de la comète de Donati à environ la sept-centième partie de la masse de la

Terre. « C'est, dit M. Faye, le poids d'une mer de 16 000 lieues carrées de superficie et de 100 mètres de profondeur ; et, il faut bien l'avouer, une telle masse, animée d'une vitesse considérable, pourrait bien produire, par son choc avec la Terre, des effets sensibles. »

De la chaleur propre aux comètes et de la nature de la lumière qu'elles émettent, on sait peu de chose encore ; mais ce qui est certain, c'est que la chaleur que ces astres peuvent rayonner vers la Terre est sans influence sensible sur la température, sur les éléments météorologiques terrestres. Le préjugé populaire, ainsi qu'il lui arrive souvent, a conclu d'une simple coincidence à une relation de cause à effet ; on parle encore du *vin de la comète*, comme si la brillante comète de 1811 avait été pour quelque chose dans l'excellence d'une récolte, dont un petit coin de notre globe a d'ailleurs seul joui.

CHAPITRE VIII.

LES ÉTOILES.

LES ÉTOILES; LEUR FIXITÉ APPARENTE. — NOMBRE DES ÉTOILES VISIBLES A L'ŒIL NU; ÉTOILES VISIBLES DANS LES TÉLESCOPES. — ORDRES DE GRANDEUR. — CONSTELLATIONS CIRCOMPOLAIRES BORÉALES. — CONSTELLATIONS ÉQUATORIALES; ÉTOILES LES PLUS REMARQUABLES. — CONSTELLATIONS CIRCOMPOLAIRES DU CIEL AUSTRAL.

Parmi les points brillants dont la voûte céleste est parsemée, il en est un petit nombre qui se déplacent d'une manière très-sensible, dans un temps relativement court : ce sont les planètes et les comètes dont nous avons étudié plus haut les mouvements périodiques et qui tous appartiennent au groupe dont la Terre fait partie, au monde solaire.

Tous les autres conservent, pendant de longs intervalles de temps, les mêmes distances relatives. Ce sont les *étoiles*.

Cette permanence de la grande majorité des points lumineux stellaires leur a fait donner longtemps la dénomination d'*étoiles fixes* ou simplement de *fixes*. Il est aujourd'hui prouvé que cette fixité n'est qu'apparente, et qu'elle est due à l'immensité de la distance où ces corps célestes se trouvent de la Terre. Toutefois elle a été d'un grand secours pour l'étude des mouvements des planètes, en fournissant des points de repère invariables, éminemment propres à la détermination des positions successives de ces dernières.

C'est aussi la fixité des étoiles qui a donné l'idée de partager la surface de la voûte étoilée en divers groupes, aisément reconnaissables par les figures à peu près invariables, que forment les étoiles les plus brillantes de chacun d'eux. Telles sont les *constellations* ou *astérismes*. Chacun de ces groupes a reçu une dénomination spéciale, d'ailleurs tout à fait arbitraire, et dont l'origine, au moins pour celles qui se trouvent dans la partie du ciel visible en Europe, remonte à une très-haute antiquité.

Les constellations des anciens étaient au nombre de 48; ce nombre a été beaucoup augmenté par les astronomes modernes qui ont distingué de nouveaux groupes dans les régions du ciel anciennement connues, en y joignant celles des zones australes de la voûte céleste alors ignorées.

Avant de donner une description sommaire des plus importantes, entrons dans quelques détails sur le nombre des étoiles visibles à l'œil nu et sur le nombre de celles qu'on peut apercevoir en s'aidant des plus puissants instruments d'optique.

Argelander a publié un catalogue exact des étoiles visibles à l'œil nu sur l'horizon de Berlin pendant le cours d'une année. Ce catalogue comprend 3256 étoiles. Mais à mesure que la latitude est moindre, la partie visible du ciel est plus étendue et le nombre des étoiles va croissant. A Paris, on en compte environ 4200, et à Alexandrie (Basse-Égypte) 4650.

Au maximum, la voûte céleste tout entière ne contient pas plus de 6000 étoiles visibles à l'œil nu. Ce nombre varie sans doute avec le plus ou moins de pénétration de la vue de l'observateur, mais le maximum de 6000 s'applique aux vues les plus perçantes, les plus habituées aux observations stellaires.

Fig. 129. Un coin de la constellation des Gémeaux vu à l'œil nu.

Quant aux étoiles visibles dans les instruments, elles sont pour ainsi dire innombrables, leur nombre croissant avec la puissance de l'instrument. D'après Struve, le télescope de 20 pieds de *W. Herschel* permettait d'en distinguer au moins 20 mil-

lions. D'autres observateurs vont beaucoup plus loin, et M. Chacornac, à qui l'on doit un atlas des étoiles de la zone zodiacale, ne craint pas d'évaluer à 80 millions le nombre total des étoiles comprises entre la première et la quatorzième grandeur.

Fig. 130. Un coin de la constellation des Gémeaux vu au télescope.

Voici ce qu'on entend par la *grandeur* des étoiles. Les astronomes ont classé les étoiles en ordres différents, non pas suivant leurs dimensions réelles, encore inconnues, mais suivant le degré d'intensité de leurs lumières : la première grandeur

comprenant les étoiles les plus brillantes, la seconde celles dont l'éclat est immédiatement inférieure, et ainsi de suite jusqu'à la seizième et même à la dix-septième grandeur, qui forme le dernier ordre des étoiles que les télescopes actuels les plus puissants permettent de distinguer.

Les étoiles des six premières grandeurs comprennent toutes celles qui sont visibles à l'œil nu. Voici, dans l'ordre de leur éclat, les noms des 20 étoiles qu'on est convenu de ranger dans la première :

1 Sirius.	8 Procyon.	15 Ataïr.
2 Canopus.	9 Beteigeuse.	16 Épi de la Vierge.
3 Alpha du Centaure.	10 Achernar.	17 Fomalhaut.
4 Arcturus.	11 Aldebaran.	18 Bêta de la Croix.
5 Rigel.	12 Bêta du Centaure.	19 Pollux.
6 La Chèvre.	13 Alpha de la Croix.	20 Régulus.
7 Wéga.	14 Antarès.	

On évalue à 65 le nombre des étoiles de la deuxième grandeur, à 200 environ celles de la troisième, à 425 les étoiles de la quatrième, à 1100 celles de la cinquième et à 3200 celles de la sixième grandeur. Au delà, ces nombres croissent plus rapidement encore. Suivant Argelander, il y a, à peu près :

13 000	étoiles de la	7e	grandeur.
40 000	—	8e	—
142 000	—	9e	—

Une grande zone d'apparence nébuleuse et blanchâtre partage le ciel en deux hémisphères irréguliers : c'est ce qu'on nomme la Voie Lactée. Les télescopes ont permis de constater que cette zone est formée d'une innombrable quantité d'étoiles, en apparence si rapprochées les unes des autres que l'œil nu ne peut les distinguer. Suivant Herschel, la Voie Lactée ne contient pas moins de 18 millions d'étoiles.

Sur un horizon donné, à la latitude de Paris par exemple, la sphère étoilée peut se diviser, ainsi que nous l'avons dit en décrivant le mouvement diurne, en trois zones : l'une, la zone *circompolaire est* formée des étoiles qui ne se couchent ni ne

se lèvent, restant visibles dans toutes les nuits de l'année; la seconde comprend les étoiles qui décrivent leurs arcs de chaque côté de l'équateur céleste, en partie au-dessus, en partie au-dessous de l'horizon. Le mouvement de translation de la Terre fait que les diverses régions de cette zone ne sont en vue que successivement aux diverses époques de l'année; enfin une troisième zone qui environne le pôle austral est formée d'étoiles qui, toute l'année, sont invisibles pour la latitude considérée.

Citons les plus remarquables constellations de ces trois zones.

En se tournant vers le nord, et en élevant les yeux un peu plus haut que le milieu de la distance séparant le zénith du point nord de l'horizon, on aperçoit une étoile de deuxième grandeur. C'est la *Polaire*, l'étoile la plus brillante de la constellation de la *Petite Ourse*.

Fig. 131. Constellations circompolaires boréales.

Dans le voisinage de cette constellation se trouve la *Grande Ourse*, composée principalement de 7 étoiles rangées de la

même façon, mais en sens inverse, que les 7 étoiles de la Petite Ourse.

Cassiopée est une constellation aisée à reconnaître, une fois qu'on sait trouver la Grande Ourse et la Polaire, car elle est toujours opposée à la Grande Ourse, relativement à cette dernière étoile et à peu près à la même distance. Mais, tandis que la Polaire, à cause de sa proximité du pôle, paraît presque immobile, les étoiles de Cassiopée, de la Grande Ourse et de toutes les autres constellations décrivent des cercles, de manière à occuper des positions très-différentes relativement à l'horizon, selon l'époque de l'année ou l'heure de la nuit.

Entre Cassiopée et la Grande Ourse, et entourant la Petite Ourse, on aperçoit trois constellations *Céphée*, la *Girafe* et le *Dragon*.

Parmi les constellations circompolaires de l'horizon de Paris, il faut citer encore le *Cocher*, dont l'étoile la plus brillante, la *Chèvre* est de première grandeur; *Persée* dans le voisinage du Cocher, et le *Cygne*, dont l'étoile la plus brillante tantôt dans sa rotation diurne passe presque au zénith, tantôt rase l'horizon.

La *Voie Lactée* traverse la zone circompolaire et les constellations de Persée, de Cassiopée et du Cygne.

La zone qui environne l'équateur céleste comprend les constellations les plus brillantes du ciel visible à la latitude de Paris.

Décrivons-les rapidement dans l'ordre de leur visibilité, à partir de l'équinoxe du printemps : c'est l'ordre même de leur passage au méridien, de sorte que les dernières décrites sont toujours les plus orientales. Nous supposons l'observateur tourné vers le sud.

Le 22 mars à minuit, la constellation du *Lion* s'élève à 60 degrés environ au-dessus de l'horizon; elle est formée de plusieurs belles étoiles, parmi lesquelles la plus brillante, *Régulus*, est de première grandeur.

De l'autre côté du méridien, vers l'orient, on voit le *Bouvier où brille Arcturus*, étoile de première grandeur, puis

entre le Lion et le Bouvier, un petit groupe d'étoiles pressées qu'on nomme la *Chevelure de Bérénice*.

L'*Épi* de la *Vierge* se montre à ce moment à peu près à la même distance de Régulus que la brillante du Bouvier, mais à une hauteur moitié moindre au-dessus de l'horizon que ces deux étoiles. Arcturus est plus orientale que l'Épi.

Fig. 132. Constellations équatoriales. — Le Lion, la Vierge.

Citons encore la *Couronne boréale*, à la même hauteur que le Bouvier.

Le 20 juin, à minuit, le ciel est traversé au sud diagonalement par la *Voie Lactée*. Les constellations principales sont de l'ouest à l'est : *Hercule*, la *Lyre* où brille *Wéga*, étoile de première grandeur ; l'*Aigle* au-dessous de la Voie Lactée où l'on remarque l'étoile de premier ordre *Ataïr*. Ataïr, Wéga et la brillante du Cygne forment un triangle à peu près isocèle, dont la première de ces étoiles est le sommet.

Trois mois plus tard, à l'équinoxe d'automne, on aperçoit à minuit un groupe de 7 étoiles rangées à peu près dans le

même ordre que les 7 étoiles de la Grande Ourse, mais formant une figure beaucoup plus étendue. Ces étoiles appartiennent à trois constellations, *Pégase*, *Andromède* et *Persée*. Aucune n'est de première grandeur. On donne le nom de *Carré de Pégase* au rectangle que forment les quatre étoiles les plus occidentales du groupe.

Tout près de l'horizon, une étoile de première grandeur

Fig. 133. Constellations du Cygne, de la Lyre, de l'Aigle.

perce les brumes : c'est *Fomalhaut* du *Poisson austral*, un peu plus occidental que Pégase.

Le 22 décembre à minuit, le ciel méridional est de nouveau traversé par la *Voie Lactée*, mais par sa partie opposée. Au-dessous et en allant toujours de l'occident à l'orient, on voit briller :

Les *Pléiades*, petit groupe de six étoiles très-rapprochées;

Le *Taureau* dont la principale étoile, *Aldebaran*, de première grandeur, est environnée de plusieurs petites étoiles *formant le groupe* des *Hyades*.

Fig. 134. Constellations de Pégase, d'Andromède et de Persée.

Fig. 135. Constellations équatoriales. Le Taureau, Orion, le Grand Chien.

Presque dans le méridien et un peu au S. E. d'Aldebaran, resplendit *Orion*, la plus belle des constellations visibles sur l'horizon de Paris. Au centre d'un rectangle de 4 étoiles dont deux, diagonalement opposées, *Beteigeuse* et *Rigel* sont de première grandeur, on voit trois étoiles à peu près également espacées, qu'on nomme le *Baudrier d'Orion*.

Si l'on mène une ligne d'Aldebaran au Baudrier, et qu'on la prolonge au S. E. on rencontre *Sirius*, la plus brillante étoile de la constellation du *Grand Chien* et de tout le ciel.

ig. 136. Zone circompolaire australe. La Croix du Sud, le Centaure, le Navire.

A ce moment brillent encore, mais à l'orient de la Voie Lactée, *Procyon*, dans la constellation du *Petit Chien*; *Castor* et *Pollux*, dans les *Gémeaux*, et enfin *Régulus* du Lion, qui nous ramène à la région céleste de laquelle nous sommes partis.

Dans la zone des étoiles circompolaires australes, invisibles sur l horizon de Paris, nous nous contenterons de citer les *constellations* les plus brillantes, celles notamment qui sui-

C'est à cet angle, ou plutôt à sa moitié AeS qu'on donne le nom de *parallaxe annuelle* de l'étoile[1].

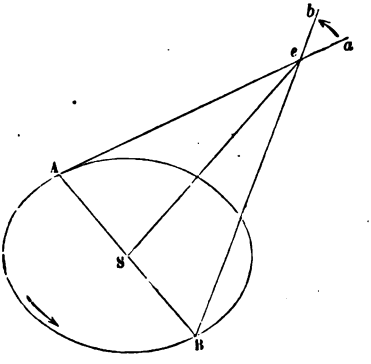


Fig. 137. Parallaxe annuelle des étoiles.

Ainsi le mouvement réel de la Terre devrait produire, sur chaque étoile, un mouvement apparent en vertu duquel elle décrirait sur la voûte céleste une courbe annuelle d'ailleurs d'autant plus petite que la distance de l'étoile serait plus grande. Les étoiles situées au pôle de l'écliptique décriraient des circonférences de cercle et celles qui se trouvent dans le plan même de l'écliptique paraîtraient décrire des lignes droites.

Pendant longtemps, on n'a pu constater aucun mouvement de ce genre. Les variations de position des étoiles dans un intervalle de six mois étaient si faibles qu'on dut les considérer comme au dessous des erreurs d'observation. Les parallaxes étaient nulles. Cela revenait à dire que le rayon de

1. En une année, le rayon visuel A*e* décrit un cône par le fait du mouvement de translation de la Terre. L'angle que cette ligne fait avec l'axe S*e* du cône varie donc d'un bout de l'année à l'autre, et il atteint sa valeur maximum, quand l'angle AS*e* est droit, c'est-à-dire quand le rayon vecteur de la Terre est vu de face par un observateur supposé placé dans l'étoile. C'est cette valeur maximum qui forme la *parallaxe annuelle* de l'étoile.

l'orbite de la Terre est comme nul devant l'immense distance où se trouvent la plupart des étoiles.

Enfin, après des essais nombreux, et grâce à une méthode plus délicate due à un astronome moderne, Bessel, on est parvenu à mesurer la parallaxe d'un petit nombre d'étoiles, les plus voisines de nous, par conséquent. Une seule a une parallaxe qui approche d'être égale à une seconde : c'est l'étoile de première grandeur Alpha du Centaure : les autres parallaxes sont des fractions de seconde.

On tire de là cette conséquence, que la multitude des étoiles qui brillent au firmament sont à une distance de la Terre supérieure à 200 000 fois la distance du Soleil à la Terre [1].

L'imagination a peine à se faire une idée de l'immensité d'une telle distance qui, cependant, n'est que la limite inférieure des véritables distances stellaires. Tout le monde sait avec quelle prodigieuse vitesse se propage la lumière au sein de l'espace : le rayon lumineux franchit en une seconde un intervalle qui n'est pas moindre de 298 000 kilomètres. Eh bien, si l'on calcule le temps qu'il faut à la lumière pour venir de l'étoile Alpha du Centaure jusqu'à la Terre, on ne trouve pas moins de 3 années et 7 mois.

La première étoile dont la distance à la Terre ait été calculée est une étoile de 6e grandeur, la 61e de la constellation du Cygne. 550 000 rayons de l'orbite terrestre nous séparent de cet astre, et sa lumière met plus de 9 ans à venir jusqu'à nous.

Voici du reste un tableau qui donne les distances de quelques-unes des étoiles dont la parallaxe a pu être calculée avec une certaine exactitude. Ces distances sont exprimées en rayons de l'orbite terrestre et en milliards de lieues ; on a en

1. Une parallaxe de 1″ suppose que l'objet dont on mesure la distance est éloigné de 206 265 fois la longueur de la ligne qui sert de base à la triangulation. Une parallaxe de 0″. 05 supposerait une distance 4 millions de fois aussi grande que la base. C'est entre ces deux limites que se trouvent les parallaxes mesurées : la précision des instruments et des méthodes ne comporte pas une plus grande approximation

outre marqué le temps qu'il faut à la lumière pour franchir l'espace qui sépare chacune d'elles de la Terre :

	Rayons de l'orbite terrestre.	Milliards de lieues.	Durées du trajet de la lumière en années.
Alpha du Centaure..	211 000	7 800	3.6
61e du Cygne.....	551 000	20 300	9.4
Wéga de la Lyre ...	1 331 000	49 000	21.0
Sirius.....	1 375 000	50 700	22.0
Étoile Polaire.....	3 079 000	113 500	50.0
Chèvre.....	4 484 000	165 400	72.0

Le petit nombre d'étoiles dont on a pu jusqu'ici évaluer directement les parallaxes et par suite les distances, ne prouve qu'une chose, c'est que la grande majorité des autres sont reculées dans les profondeurs du ciel à des distances incomparablement plus grandes encore. D'après les évaluations de W. Herschel, le télescope permet de distinguer des étoiles situées à une distance 2300 fois plus considérable que la distance moyenne des étoiles du 1er ordre, c'est-à-dire les plus rapprochées de nous. C'est bien autre chose, si l'on considère les astres qui forment les agglomérations connues sous le nom de nébuleuses.

La solution du problème dont nous venons de donner les principaux résultats est un témoignage de plus à joindre aux autres preuves du mouvement de translation de la Terre. Si notre planète était immobile, les étoiles ne subiraient pas les déplacements annuels d'où l'on a déduit la parallaxe, ou, ce qui revient au même, les déplacements constatés demeureraient inexplicables.

Parmi les astronomes qui ont consacré de longues recherches à la détermination des parallaxes et des distances stellaires, il faut citer Bradley[1], non que ce savant ait réussi dans

1. Bradley, un des plus illustres astronomes modernes, fut l'un des des directeurs de l'Observatoire de Greenwich. Il est mort en 1762. C'est à lui qu'on doit aussi la découverte de la *nutation* de la Terre, phénomène analogue à celui de la précession, mais dont la période est seulement de *18 ans*.

l'objet qu'il se proposait d'abord, mais il eut la gloire de découvrir un mouvement annuel apparent des étoiles, l'*aberration*, qui est aussi une preuve directe de la translation de notre planète.

En étudiant avec soin les positions d'étoiles voisines du zénith — afin d'éviter l'influence de la réfraction atmosphérique —Bradley reconnut que chacune d'elles semble décrire en une année une courbe elliptique, dont le grand axe, parallèle au plan de l'orbite terrestre, a invariablement une valeur angulaire d'un peu plus de 40″. Plus l'étoile considérée était voisine du pôle de l'écliptique, plus l'ellipse qu'elle décrivait annuellement se rapprochait de la forme du cercle. Au contraire, plus l'étoile était voisine de l'écliptique, c'est-à-dire moins sa latitude céleste était grande, plus il trouva son ellipse aplatie, de sorte que cette ellipse se serait réduite à une ligne droite pour une étoile située précisément dans le plan de l'orbite de la Terre.

Bradley reconnut en outre que tous les petits axes des ellipses étaient dirigés vers le pôle de l'écliptique. Enfin, en examinant la position occupée par l'étoile sur son orbite apparente, il trouva qu'elle était constamment de 90 degrés en arrière de celle que la Terre occupait au même instant sur la sienne.

Toutes ces circonstances réunies lui démontrèrent que ce phénomène ne pouvait être dû à la parallaxe ou à la distance ; car alors les longueurs des axes des ellipses décrites, au lieu d'être toutes égales, auraient dû varier en raison inverse des distances des étoiles. De plus, l'étoile, au lieu d'être en retard de 90° sur son ellipse apparente, aurait dû être au contraire toujours en avance de 180 degrés.

Bradley finit par reconnaître que ce mouvement apparent, commun à toutes les étoiles, est un effet du mouvement de translation de la Terre combiné avec la vitesse de la lumière.

Nous avons vu que la lumière se meut avec une vitesse de 298 000 kilomètres par seconde, tandis que la Terre parcourt dans le même temps 29^{k},8 environ. Il en résulte que la vitesse de translation de notre planète est à fort peu de chose près 10 000 *fois moindre* que celle d'un rayon lumineux. Quelque

petit que soit le rapport de ces deux vitesses, il est assez grand pour qu'il en résulte une altération dans la direction que nous attribuons à un rayon lumineux déterminé au moment où il pénètre dans notre œil.

En effet, si l'œil d'un observateur qui regarde une étoile E à la station T était immobile (fig. 138), il verrait le point lumineux dans la direction réelle de la route suivie par les rayons de lumière qui en émanent à tout instant, c'est-à-dire, dans la direction TE; mais il n'en est rien, l'œil se meut et la direction de son mouvement est, à tout moment, celle de la tangente TA à l'orbite de la Terre. Ce mouvement se combine avec celui des molécules lumineuses, et les choses se passent évidemment de la même manière que si, l'œil restant immobile, le rayon de lumière était animé d'un mouvement TA′ égal et contraire à celui de la Terre.

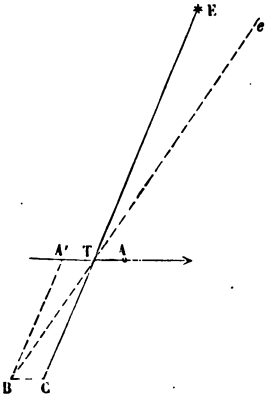


Fig. 138.— Aberration. — Déviation causée par la combinaison du mouvement de la lumière et du mouvement de translation de la Terre.

Il faut donc, selon les règles de la mécanique, pour obtenir la direction suivant laquelle l'œil voit l'étoile, construire un parallélogramme TCBA′, dont les côtés TC et TA, sont dans le rapport des nombres 10 000 et 1, c'est-à-dire des vitesses de la lumière et de la Terre. La diagonale BT*e* indiquera la direction de la position apparente de l'étoile, et l'angle ET*e* sera ce qu'on nomme l'angle d'*aberration*.

Or, si l'on fait une construction analogue pour chaque position de la Terre sur son orbite, T′ T″ T‴ T⁗ (fig. 139), on trouve que l'étoile E paraît occuper les positions *e′ e″ e‴* sur une courbe semblable à l'orbite terrestre, c'est-à-dire à peu de chose près sur un cercle, dont le plan est parallèle à l'é-

cliptique. Ce cercle se projette sur la sphère céleste suivant une ellipse dont le grand axe est constamment égal à 40″.90 et dont le petit axe est d'autant plus petit que la latitude de l'étoile est plus faible.

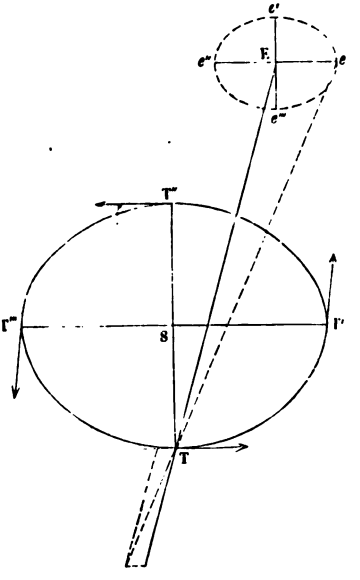


Fig. 139. — Courbe annuelle d'aberration.

Un phénomène que chacun peut observer rend parfaitement compte de l'aberration de la lumière, et de la déviation apparente des rayons lumineux provenant de la combinaison de leur vitesse avec celle de la lumière dans son orbite. Si l'on observe en wagon, par la fenêtre de la portière, les gouttes d'une pluie qui tombe verticalement, la direction de ces gouttes variera, selon que le wagon est en repos, ou qu'il se meut avec plus ou moins de rapidité.

Si le wagon est immobile, toutes les gouttes de pluie paraîtront se mouvoir dans leur direction réelle, c'est-à-dire

verticalement. Mais si le train est en marche, et si, pendant que la goutte *a* se meut de *a* en *b*, la fenêtre s'avance de la

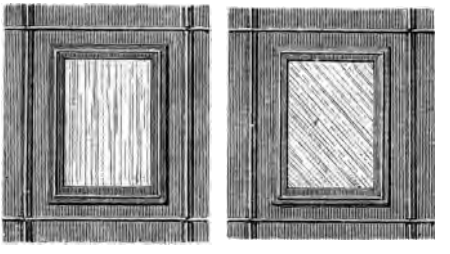


Fig. 140. — Direction inclinée des gouttes de pluie dans un wagon en marche.

première position à la seconde, le point *b* se trouvera à la fin de sa chute vers l'angle gauche de la fenêtre, de sorte que la goutte aura paru suivre la direction *a' b*. Pour le voyageur,

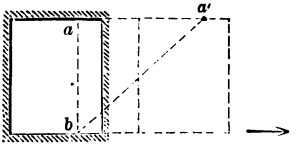


Fig. 141. — Explication du phénomène précédent.

la pluie semblera tomber obliquement, et l'obliquité sera d'autant plus forte que la vitesse du wagon sera plus considérable. (La figure 140 indique une marche inverse.)

L'aberration est un phénomène commun à tous les astres : elle affecte la longitude du Soleil de la quantité constante 20″45. Quant aux autres planètes, l'aberration est produite à la fois par le mouvement de la Terre et par leur mouvement propre, et il en résulte pour l'angle d'aberration une valeur qui dépend de la position de l'astre sur son orbite.

III

MOUVEMENT PROPRE DES ÉTOILES. — TRANSLATION DU SYSTÈME SOLAIRE DANS L'ESPACE. — LE SOLEIL SE MEUT AVEC TOUTES LES PLANÈTES DANS LA DIRECTION DE LA CONSTELLATION D'HERCULE.

Jusqu'ici, nous avons considéré les étoiles comme immobiles sur la voûte céleste. Du moins, les mouvements dont nous avons constaté l'existence ne sont que des mouvements apparents dus au mouvement réel de la Terre dans son orbite, ou à la combinaison de la vitesse de notre globe avec la vitesse de la lumière.

Cependant de longues et minutieuses recherches ont amené les astronomes à reconnaître qu'un grand nombre d'étoiles sont affectées d'un mouvement propre, indépendant de l'aberration et des déplacements parallactiques.

Ces mouvements s'effectuent avec une grande lenteur, dans des directions et des vitesses différentes. Citons-en quelques-uns.

Arcturus, la brillante étoile du Bouvier, parcourt en un siècle un arc égal à la 8e partie du diamètre lunaire. Dans le même temps, Alpha du Centaure se déplace du 5e de ce diamètre. Le mouvement connu le plus rapide est celui que possède la 61e du Cygne, qui parcourt environ 7″ d'arc par année, ce qui exige à peu près 3 siècles pour qu'elle franchisse sur la voûte étoilée un espace égal au diamètre de la Lune.

Il ne s'agit ici que des vitesses apparentes. Pour apprécier les vitesses réelles de ces mouvements, il faudrait connaître non-seulement les distances réelles des étoiles qui en sont affectées, mais encore la direction des lignes ainsi parcourues. Toutefois, en supposant que les trajectoires sont vues de face, on a une limite inférieure de la vitesse des étoiles dont la distance est approximativement connue. Ainsi, Arcturus *parcourt au moins* 22 lieues par seconde ; la 61e du Cygne

16 lieues, la Chèvre 12 lieues, Sirius 6 lieues, Alpha du Centaure 5 lieues.

Ainsi les étoiles bien loin d'êtres fixes, immobiles, se meuvent avec une rapidité qui ne le cède pas à la vitesse des mouvements planétaires. La Terre, qui se meut sur son orbite avec une vitesse de 7 lieues 1/2 par seconde, marche trois fois plus lentement qu'Arcturus.

Indépendamment des mouvements propres des étoiles, on a reconnu qu'elles possèdent toutes un mouvement de progression ou d'ensemble qu'il est impossible d'expliquer, si le Soleil et tous les corps célestes qui l'entourent restent immobiles dans l'espace. Au contraire, tous ces mouvements s'expliquent à merveille, si l'on suppose que le Soleil est lui-même doué d'un mouvement propre, comme les étoiles que nous venons de citer. Par un effet de perspective facile à comprendre, les étoiles situées dans la partie du ciel dont notre monde s'éloigne paraîtront se resserrer, converger vers un point; celles qui sont en avant de nous sembleront s'é-

Fig. 142. — Point du ciel vers lequel se dirige le système solaire.

carter au contraire, tandis que sur les côtés, les étoiles fuiront en sens inverse du mouvement.

C'est *après une* discussion approfondie des mouvements

d'un grand nombre d'étoiles, due à W. Herschel et aux astronomes contemporains Argelander, O. Struve et Peters, que ces savants sont arrivés à la conclusion suivante :

« Le mouvement du système solaire dans l'espace est dirigé vers un point de la voûte céleste situé sur la ligne droite qui joint les étoiles de 3e grandeur π et μ d'Hercule, à un quart de la distance apparente de ces étoiles, à partir de l'étoile π. La vitesse de ce mouvement est telle, que le Soleil, avec tous les corps qui en dépendent, avance annuellement dans la direction indiquée de 1.623 fois le rayon de l'orbite terrestre, ou de 239 450 000 kilomètres.

Les mouvements propres des étoiles, ainsi que le mouvement de progression du système solaire auront pour effet d'altérer à la longue l'aspect de la voûte étoilée, de défigurer peu à peu les constellations. Mais il faudra bien des siècles pour que cette déformation soit sensible : d'ailleurs aucun inconvénient ne peut en résulter pour les cartes célestes, puisque les astronomes enregistrent tous ces mouvements et en tiennent compte dans les tables qui donnent les positions des étoiles.

IV

ÉTOILES VARIABLES PÉRIODIQUES, TEMPORAIRES, NOUVELLES. — MIRA DE LA BALEINE ET ALGOL DE PERSÉE. — LA PÉLERINE, ÉTOILE DE 1572. — ÈTA DU NAVIRE.

Parmi les étoiles, il en est un certain nombre dont l'éclat ne conserve pas toujours la même intensité. Cet éclat varie, tantôt augmentant, tantôt diminuant, de sorte que la même étoile passe par des ordres de grandeur différents.

Ce sont les étoiles *variables*.

En étudiant ces variations singulières, les astronomes ont reconnu que plusieurs se reproduisent de la même façon *dans des périodes* déterminées. L'étoile o de la constellation

de la Baleine a une période de 11 mois pendant laquelle son éclat subit les variations suivantes : pendant 15 jours, elle brille comme une étoile de 2e grandeur ; c'est alors son maximum d'éclat. Sa lumière décroît ensuite pendant trois mois, jusqu'à devenir complétement invisible et à descendre au-dessous de la 11e grandeur. Elle reste 5 mois entiers dans cet état, puis elle reparaît par degrés et son éclat va croissant pendant 3 autres mois, jusqu'à l'époque de son maximum d'éclat, où sa période est terminée.

Ces variations périodiques, connues depuis la fin du seizième siècle, ont fait donner à cette étoile le nom de *Mira* (la merveilleuse).

Algol, dans la tête de Méduse (constellation de Persée) a une période beaucoup plus courte. Étoile de 2e grandeur pendant 2 jours 13 heures 1/2, elle décroît soudain, et en 3 heures 1/2 descend jusqu'à la 4e grandeur, puis son éclat augmente de nouveau et elle revient à son maximum en 3 heures 1/2. La période totale dure donc 2 jours 21 heures 49 minutes.

Les durées des périodes sont très-longues pour quelques étoiles et embrassent plusieurs années. D'autres sont incertaines, soit que la périodicité n'offre rien de régulier, soit que la durée considérable des variations n'ait pas encore permis de déterminer la période.

On a cherché à expliquer de diverses manières les variations d'éclat des étoiles périodiques : on a supposé que des corps opaques et obscurs, satellites de ces étoiles, venaient à chacune de leurs révolutions s'interposer entre l'astre et la Terre, en nous masquant sa lumière ; ou bien que les diverses faces de l'étoile variable, inégalement lumineuses, se présentaient successivement à nous, par l'effet de la rotation de l'astre. Maupertuis pensait qu'il y avait des étoiles de forme très-aplaties se présentant à nous tantôt par leurs tranches, tantôt de face. Aujourd'hui, les astronomes paraissent plus disposés à assimiler les étoiles variables à notre Soleil[1], dont la surface est envahie à certains moments par des taches qui

1. M. Faye a publié sur ce sujet d'importantes notices.

en diminuent l'éclat, et dont le nombre paraît suivre une certaine périodicité. Dans cette hypothèse, les changements d'éclat des étoiles variables seraient dus au nombre et à l'étendue des parties de la surface couvertes par les taches obscures, qui, dans certaines circonstances, seraient susceptibles de masquer l'astre entièrement.

A différentes époques, des étoiles ont apparu subitement dans des endroits du ciel où l'œil ne distinguait auparavant aucun astre.

Telle est la fameuse étoile observée par Tycho-Brahé, laquelle apparut subitement en 1572, à cet astronome, au milieu de la constellation de Cassiopée. Son éclat surpassait tout d'abord celui des plus brillantes étoiles du ciel, Sirius, la

Fig. 143. — La Pélerine, étoile nouvelle de 1572.

Lyre, Jupiter. Peu à peu, elle diminua d'éclat, passant successivement par tous les ordres de grandeur des étoiles visibles à l'œil nu, jusqu'en 1574, époque où elle disparut, après avoir brillé 17 mois. Elle avait tous les caractères des étoiles fixes, scintillation très-vive, absence de mouvement propre et de parallaxe. Elle est connue des astronomes sous le nom de la *Pèlerine*. Sa couleur varia comme son éclat.

blanche d'abord, elle passa au jaune, puis au rouge, et enfin redevint blanche avant de disparaître. Elle n'a pas été revue depuis.

En 1604, une autre étoile remarquable apparut dans le Serpentaire. D'un éclat moindre que l'étoile de 1572, elle était néanmoins fort brillante, sans être visible en plein jour comme la première : sa scintillation était d'une vivacité extraordinaire. Peu à peu, son éclat diminua, et après être restée visible pendant près de 18 mois, elle disparut également sans laisser de trace. L'étoile de 1604 fut observée par Képler.

Antérieurement à ces apparitions remarquables, on en cite un assez grand nombre d'autres dont les annales de l'astronomie chinoise et arabe ont conservé le souvenir. Depuis, en 1670, une étoile nouvelle apparut dans le Renard, et en 1848 l'astronome Hind en découvrit une de cinquième grandeur dans le Serpentaire. Enfin cette année même, on a vu subitement, dans la constellation de la Couronne boréale, une étoile nouvelle qui atteignit la Perle en éclat, puis peu à peu s'affaiblit, devint invisible à l'œil nu, mais sans cesser d'être visible dans les instruments[1].

D'autres étoiles, qui avaient toujours été observées dans le ciel, ont disparu.

Enfin, il faut citer encore, parmi les étoiles dont l'éclat a présenté des phases singulières, la célèbre étoile Êta du Navire. Vers la fin du dix-septième siècle, c'était une étoile de 4e grandeur. En 1751, elle atteignait la seconde, s'affaiblissait pendant 60 ans, et croissait de nouveau jusqu'en 1826. Depuis cette époque, elle a présenté les variations les plus

1. La *Perle* est l'étoile la plus brillante de cette constellation; elle est de 2me grandeur. Il paraît maintenant certain que l'étoile nouvelle de la Couronne n'est autre qu'une étoile de 9me grandeur, inscrite dans le catalogue d'Argelander. S'il en est ainsi pour les autres étoiles subitement apparues, il faut en conclure que les étoiles nouvelles ne diffèrent des étoiles variables que par l'accroissement rapide de leur intensité lumineuse et par le peu de durée de leur maximum d'éclat.

Un physicien anglais, qui s'occupe activement de l'analyse des spectres d'étoiles, M. Huggins, pense qu'il est probable que l'accroissement d'éclat de l'étoile de la Couronne est dû à la combustion du gaz hydrogène.

étonnantes et les plus irrégulières, oscillant entre la 1re et la 2e grandeur et approchant parfois de Sirius. Depuis 1863, elle n'est plus visible à l'œil nu.

Y a-t-il une analogie réelle entre tous les phénomènes que nous venons de passer en revue? Ou bien, doit-on distinguer les étoiles variables périodiques des étoiles temporaires, et celles-ci des étoiles à variations irrégulières? On n'a émis jusqu'ici, à cet égard, que des hypothèses plus ou moins vraisemblables, mais conjecturales.

V

ÉTOILES DOUBLES ET MULTIPLES. — DISTINCTION DES ÉTOILES DOUBLES EN COUPLES OPTIQUES ET EN COUPLES PHYSIQUES. — DURÉE DES RÉVOLUTIONS DE QUELQUES SOLEILS DOUBLES. — COULEURS VARIÉES DES COMPOSANTES. — COULEURS DE QUELQUES ÉTOILES SIMPLES.

A l'œil nu, ou dans les lunettes de moyenne puissance, toutes les étoiles apparaissent comme de simples points lumineux. Si l'on emploie un instrument qui permette un grossissement considérable, on est surpris de voir que quelques-uns de ces points se dédoublent: on aperçoit deux étoiles au lieu d'une seule.

Il y a un siècle, on connaissait au plus 20 groupes de ce genre: aujourd'hui les observateurs en ont recensé plus de 6000, dans lesquels la distance apparente des étoiles composantes ne dépasse pas 32″. C'est à ces groupes que les astronomes donnent le nom d'*étoiles doubles*. On se fera une idée de la proportion qui existe entre le nombre des étoiles simples et celui des étoiles doubles, par ce fait, que Struve a dû passer en revue 120 000 étoiles pour recenser un peu plus de 3000 couples. C'est 1 étoile double sur 40 étoiles environ.

La réunion de deux étoiles dans un espace aussi restreint que celui dont il vient d'être question peut être attribuée à deux causes différentes. On peut admettre que le rapprochement des deux astres n'est qu'apparent, que l'un d'eux est

beaucoup plus éloigné que l'autre, de sorte que les deux points lumineux se projettent en un même point du ciel par un simple effet de perspective. On donne aux étoiles doubles qui se trouvent dans ce cas, le nom de *couples optiques*. Mais si les deux étoiles sont à des distances à peu près égales de nous, leur rapprochement est réel et tout fait présumer qu'elles forment un véritable système et que les composantes sont liées ensemble par des rapports vraiment physiques. On nomme *couples physiques* les étoiles doubles de ce genre.

Les couples physiques se reconnaissent à divers caractères : on peut assurer que les deux composantes d'une étoile double forment un système réel, quand l'observation a permis de constater le mouvement de circulation de l'une d'elles autour de l'autre ; ou encore, quand les deux composantes ont un mouvement propre de même amplitude et dans la même direction.

Quant aux couples optiques, ils se distinguent des autres, soit par l'absence d'un mouvement de circulation, soit par la divergence des mouvements propres, soit par le fait qu'une des composantes possède un tel mouvement sans que l'autre composante y participe.

Sur 6000 étoiles doubles connues, les astronomes ont déjà reconnu 650 systèmes physiques, c'est-à-dire 650 groupes de soleils tournant l'un et l'autre autour d'un centre commun.

Les éléments de plusieurs de ces systèmes ont été complétement déterminés. C'est à l'astronome français Savary, qu'on doit la première détermination de ce genre, appliquée à l'étoile double ξ de la Grande-Ourse. La durée de la révolution de ce système étant de 61 ans ; il en résulte que depuis 1782, époque où l'étoile a été reconnue double, une révolution totale s'est accomplie et qu'un tiers de la seconde période vient de se terminer encore sous nos yeux.

Voici les durées des révolutions de plusieurs étoiles doubles :

ζ d'Hercule	36 années
ζ de l'Écrevisse	59 —
ξ de la Grande-Ourse . .	61 —

π de la Couronne boréale .	66	—
α du Centaure.	78	—
p d'Ophiucus	92	—
γ de la Vierge.	150	—
61e du Cygne	452	—

La plupart des orbites ont une excentricité considérable; mais toutes sont elliptiques, et il paraît certain que les lois des mouvements sont identiques à celles qui président aux révolutions de notre système planétaire, d'où il faudrait conclure que la gravitation est une force véritablement universelle, qui régit les mondes sidéraux comme notre monde solaire.

Les distances de quelques-uns de ces systèmes étant connus, on a pu calculer approximativement les dimensions réelles des orbites. C'est ainsi qu'on évalue à 410 millions de lieues le rayon moyen de l'orbite décrite par l'une des étoiles qui composent α du Centaure, et à 1700 millions de lieues la distance des composantes de la 61e du Cygne.

Parmi les étoiles doubles, il faut citer encore Sirius, dont le satellite avait été soupçonné avant que les instruments l'eussent découvert. La théorie avait assigné à la révolution de ce soleil une durée de 50 années, qui paraît être en par-

Fig. 144. — Étoile septuple Théta; trapèze d'Orion.

fait accord avec les récentes observations du satellite. Quelques savants ont émis l'opinion que ce satellite n'est pas un

soleil, mais une planète fort volumineuse éclairée par la lumière de Sirius.

On ne connaît pas seulement des étoiles doubles, mais des étoiles triples, quadruples, etc.; et jusqu'à des étoiles septuples : telle est la fameuse étoile θ de la constellation d'Orion, qui, simple à l'œil nu, se décompose en 4 étoiles formant un trapèze lorsqu'on l'observe avec une lunette d'une suffisante puissance. Les grands télescopes ont montré d'abord deux, puis trois très-petites étoiles situées dans les limites du trapèze, ce qui porte à 7 le nombre des étoiles de ce groupe.

D'après Humboldt, il est probable qu'elles forment un système, car elles sont toutes affectées du même mouvement propre.

Les étoiles composantes d'un couple sont rarement égales en éclat; mais c'est surtout dans les couples optiques qu'on remarque les inégalités les plus grandes dans l'intensité de la lumière, ce qui provient sans doute le plus souvent de la différence des distances. On réserve le nom de *satellites*, dans les couples physiques, aux plus faibles des étoiles composantes.

Indépendamment des différences d'éclat, les étoiles multiples présentent souvent aussi des différences de couleur. Parmi 596 étoiles doubles brillantes observées par W. Struve, cet astronome a compté :

375 couples dont les composantes ont la même couleur à la même intensité ;

101 couples où la même couleur est d'une intensité différente;

120 couples de couleurs totalement différentes. Parmi les étoiles de même couleur, les plus nombreuses sont les blanches, et sur les 475 étoiles de cette sorte, Struve a observé :

295 couples où les deux composantes sont blanches;

118 couples, où elles sont jaunes ou rougeâtres ;

63 couples, où elles sont bleuâtres.

Toutes les nuances du spectre se rencontrent dans les étoiles doubles colorées. Le blanc s'y trouve associé avec le rouge clair ou sombre, l'orangé, le pourpre, le rubis. Là, c'est une étoile verte avec une composante rouge de sang foncé; ici, un

soleil principal orangé, accompagné d'un satellite pourpre ou bleu indigo. L'étoile triple γ d'Andromède est formée d'un soleil rouge orangé et de deux satellites dont la lumière est couleur vert d'émeraude.

D'ailleurs un assez grand nombre d'étoiles simples sont aussi colorées.

Sirius, Wéga, Régulus, l'Épi sont parfaitement blanches; mais Beteigeuze d'Orion, Aldebaran, Arcturus, Antarès, Mira sont rouges ; Procyon, la Chèvre et la Polaire sont jaunes ; l'étoile Éta de la Lyre est d'une couleur bleue prononcée.

VI

GROUPES D'ÉTOILES ; LES PLÉIADES. — AMAS STELLAIRES OU NÉBULEUSES RÉSOLUBLES. — NÉBULEUSES IRRÉDUCTIBLES DE FORMES DIVERSES. — NÉBULEUSES PLANÉTAIRES ET ÉTOILES NÉBULEUSES. — VOIE LACTÉE ; LE SOLEIL EST UNE DES ÉTOILES DE LA VOIE LACTÉE.

L'observation, à l'œil nu, de la voûte étoilée, suffit pour faire remarquer que les étoiles des diverses grandeurs ne sont pas également disséminées dans toutes les régions du ciel. Certaines de ces régions sont pauvres en étoiles; d'autres au contraire sont riches en étoiles très-brillantes, et ailleurs encore on trouve des accumulations très-marquées d'une multitude d'étoiles d'un faible éclat. La zone lumineuse connue sous le nom de Voie Lactée, que nous allons décrire, tranche notamment avec toutes les autres zones célestes par le nombre considérable des points brillants qui la composent.

Mais en dehors de cette zone, on aperçoit un certain nombre de groupes, dont les étoiles composantes sont si rapprochées qu'on ne peut s'empêcher de les considérer comme des associations unies par un lien naturel.

Le plus remarquable de ces groupes est celui des Pléiades, *situé dans* la constellation du Taureau. On y compte six *étoiles visibles* à l'œil nu dont la plus brillante, Alcyone, est

de troisième grandeur. Mais le télescope en fait découvrir environ quatre-vingts disséminées sur un très-petit espace.

Fig. 145. Les Pléiades

Les Hyades, dans le voisinage d'Aldebaran, la Crèche ou Prœsepe dans le Cancer, et le groupe de Persée forment des associations d'étoiles analogues à celle des Pléiades, et comme celle-ci aisément reconnaissables à l'œil nu.

Dans la constellation d'Andromède, entre le carré de Pégase et Cassiopée, les bonnes vues distinguent, quand le ciel est bien pur et la nuit bien profonde, une masse lumineuse, un petit nuage blanchâtre de forme ovale allongée, mais où la vue ne peut distinguer aucune étoile.

C'est une *nébuleuse*, bien connue des astronomes sous le nom de nébuleuse d'Andromède, et célèbre dans la science, parce que c'est la première qui ait attiré la sérieuse attention des observateurs. C'est à Simon Marius, en 1612, qu'est due l'observation et la description de ce nuage céleste.

Depuis cette époque, on a découvert un nombre considé-

rable d'objets analogues, la plupart invisibles à l'œil nu, et d'ailleurs très-variés de dimensions, de formes et d'éclat. On connaît aujourd'hui plus de 5000 nébuleuses, çà et là disséminées dans toutes les régions du ciel.

Du reste, la distribution des nébuleuses est très-inégale dans l'hémisphère céleste boréal, ainsi que dans les parties de l'hémisphère austral visibles dans les latitudes de la zone tempérée septentrionale. C'est dans une zone qui embrasse à peine la huitième partie de la voûte céleste, que se trouve la plus grande accumulation de nébuleuses. Les constellations du Lion, de la Grande-Ourse, de la Girafe et du Dragon, celles du Bouvier, de la Chevelure de Bérénice, des Chiens de Chasse, mais principalement de la Vierge, forment cette zone, qui s'étend d'ailleurs jusqu'au milieu du Centaure et qui est connue sous le nom de *région nébuleuse de la Vierge*.

A peu près à l'opposé du ciel, une autre agglomération de

Fig. 146. Amas stellaire de la Balance.

nébuleuses embrasse Andromède, Pégase, les Poissons et s'étend plus loin que la première dans la partie australe de *la voûte céleste*.

Circonstance remarquable : les régions voisines de la Voie Lactée sont les plus pauvres en nébuleuses, tandis que les deux régions les plus riches s'étendent aux deux pôles de cette grande ceinture, où les étoiles sont si nombreuses et si condensées.

Les nébuleuses sont plus uniformément réparties dans la zone céleste qui environne le pôle sud : elles y sont aussi moins nombreuses. En revanche, on y admire deux magnifiques agglomérations qui contiennent à elles seules près de

Fig. 147. Amas d'Hercule.

400 nébuleuses : elles sont connues sous le nom de *Nuées de Magellan.*

Sur le nombre total des nébuleuses aujourd'hui recensées, on en compte 400, à peu près la douzième partie que les télescopes sont parvenus à décomposer en étoiles. Ce sont les nébuleuses *résolubles* ou *amas stellaires.*

La forme des amas est généralement arrondie; quand on les examine à l'aide d'instruments puissants, on voit qu'ils sont formés d'une multitude d'étoiles, le plus souvent fortement condensées vers le centre de l'agglomération. Les amas de la Balance, d'Hercule, et d'Oméga du Centaure que

nous reproduisons ici, d'après les dessins originaux de J. Herschel, sont des exemples frappants de cette condensation, qui laisse supposer une forme globulaire ou sphérique.

D'ailleurs l'accroissement d'éclat du bord au centre est souvent plus rapide que ne permet de l'admettre une égale distribution des étoiles à l'intérieur des amas stellaires. On en a conclu qu'outre la condensation apparente ou purement optique, il existe une condensation réelle qui s'est sans doute produite à la longue, sous l'influence des forces centrales, résultantes des attractions isolées de tous les soleils qui composent de tels systèmes.

Fig. 148. Amas stellaire d'Oméga du Centaure.

Le nombre des étoiles que renferment les amas de forme globulaire est souvent prodigieux. Herschel a calculé que plusieurs amas ne renferment pas moins de 5000 étoiles agglomérées dans un espace dont les dimensions apparentes sont à peine la 10me partie de la surface du disque lunaire.

On trouve aussi des amas stellaires dont la forme est très-

irrégulière, mais ce sont les moins nombreux et les moins riches en étoiles.

Parmi les nébuleuses qui n'ont pu être encore décomposées, et qu'on nomme pour cette raison *nébuleuses irréductibles*, il en est un certain nombre cependant où les plus puissants télescopes ont permis de distinguer un certain nombre d'étoiles disséminées sur un fond nébuleux.

Fig. 149. Nébuleuse d'Andromède.

Telle est la nébuleuse d'Andromède, dont la forme allongée et la lueur uniforme condensée au centre l'avaient fait comparer par Simon Marius, « à la flamme d'une chandelle vue à travers une feuille de corne transparente. » L'astronome américain G. P. Bond l'a en partie décomposée en étoiles; il en a compté plus de 1500. La nébuleuse Dumb-bell, du Renard, la grande nébuleuse irrégulière d'Orion, sont encore dans le même cas. Les télescopes y distinguent un certain *nombre d'étoiles*, mais les masses nébuleuses sur lesquelles

elles se projettent résistent jusqu'à présent à toute décomposition, dans les télescopes les plus puissants.

Enfin d'autres nébuleuses, et ce sont les plus nombreuses, sont complétement irréductibles, quelle que soit la puissance

Fig 150. Nébuleuse du Taureau.

des télescopes employés jusqu'ici par les observateurs. Elles apparaissent dans les instruments comme des masses vaporeuses confuses, ne laissant soupçonner en aucune façon *l'existence de points* lumineux distincts.

Pour expliquer cette apparence, on a supposé qu'il existe dans les profondeurs de l'espace des agglomérations de matière diffuse, probablement gazeuze, plus ou moins con-

Fig. 151. Nébuleuse de la Dorade.

densée, brillant d'une lumière qui lui est propre. Comme un certain nombre de nébuleuses irréductibles, au lieu de présenter un éclat uniforme, laissent voir quelques points plus

lumineux, on en a conclu qu'en ces points la matière, sous l'influence de la force attractive, se condensait réellement, pour donner naissance dans la suite des siècles à de véritables étoiles, à des soleils.

Fig. 152. Nébuleuses annulaires.

Cette hypothèse a paru d'abord un peu hasardée quand on a pu constater que le nombre des nébuleuses résolubles augmentait avec la puissance des instruments d'optique. Mais *l'analyse spectrale* appliquée à la lumière des nébulosités par

des astronomes contemporains (MM. Huggins et Miller, en Angleterre, Secchi à Rome) paraît devoir donner gain de

Fig. 153. Nébuleuse spirale des Chiens de chasse d'après lord Rosse.

cause à l'opinion qui admet l'existence d'une matière diffuse.

Outre la forme globulaire des amas stellaires on constate dans les nébuleuses les configurations les plus variées, elliptiques, plus ou moins allongées, annulaires, rectilignes, spirales. Les nébuleuses d'Orion, de la Dorade, du Navire présentent les configurations les plus bizarres, et leurs masses

Fig. 154. Nébuleuses de forme circulaire ou elliptique.

informes semblent des nuages tourmentés et déchiquetés par la tempête.

Il en est aussi un assez grand nombre qui affectent la forme de spirales à une ou à plusieurs branches, et où l'on voit en *divers points des* centres très-marqués de condensation lumi-

neuse. Nous donnons ici quelques échantillons curieux de ces formes diverses.

Enfin, il faut noter encore les nébuleuses *planétaires*, ainsi nommées, parce qu'elles se montrent sous la forme d'un disque dont l'intensité lumineuse est égale aux bords et au centre; puis les étoiles nébuleuses, qui ne diffèrent des nébuleuses planétaires que par la présence d'une étoile occupant le centre du disque, ou de deux et trois étoiles symétriquement placées sur le cercle ou sur l'ovale nébuleux.

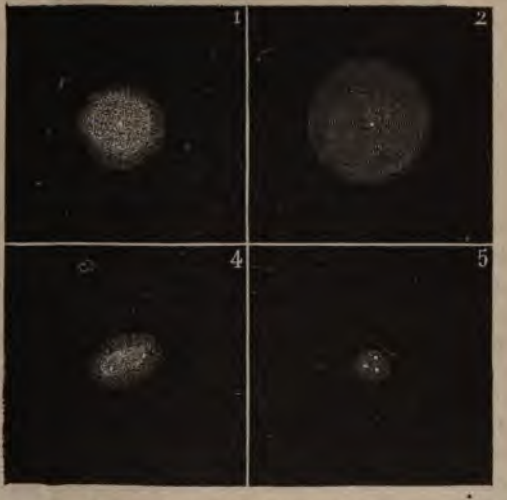


Fig. 155. Étoiles nébuleuses.

Plusieurs nébuleuses planétaires, observées par lord Rosse avec son télescope géant, ont paru sous un aspect tout différent de celui que leur donnent des instruments moins puissants, de sorte qu'il y a tout lieu de penser que ce genre de nébuleuses ne diffère pas réellement des nébuleuses globulaires, ovales, etc.

On a observé des nébuleuses doubles, composées de deux nébuleuses voisines, soit séparées, soit liées par des fragments de nébulosité

Tout le monde a pu observer, par les nuits sereines et sans lune, la longue zone blanchâtre connue sous le nom de

Fig. 156. Nébuleuse double, d'après lord Rosse.

Chemin de Saint-Jacques ou de Voie Lactée, qui divise la voûte étoilée en deux segments presque égaux.

L'apparence générale de la Voie Lactée est celle d'une longue traînée nébuleuse, qui suit à très-peu près la circonférence d'un grand cercle de la voûte céleste. De prime abord, on remarque qu'elle se divise en deux branches principales sur près de la moitié de sa longueur totale. Sa largeur est très-variable : tantôt elle se resserre au point de ne plus occuper que six à huit fois le diamètre lunaire; tantôt elle se répand sur une étendue quatre fois plus large.

Quand on examine la Voie Lactée à l'aide des télescopes, la nébulosité se résout généralement en une multitude d'étoiles très-rapprochées les unes des autres, mais fort irrégulièrement condensées. Les amas stellaires de formes irrégulières y sont surtout très-nombreux : il n'en est pas de même des amas de forme globulaire, qui ne se trouvent guère que dans la partie la plus brillante de la zone australe. « Si quelques régions, dit Humboldt, présentent de grands espaces où la lumière est uniformément répartie, il vient, *immédiatement* après, d'autres régions où des espaces *brillants*, du plus vif éclat, alternent avec des espaces

pauvres en étoiles et dessinent sur le ciel des réseaux irrégulièrement lumineux. On trouve même, jusque dans l'intérieur de la Voie Lactée, des espaces obscurs où il est impossible de découvrir une seule étoile, fût-elle de dix-huitième ou de vingtième grandeur. A l'aspect de ces régions absolument vides, on ne saurait se défendre de l'idée que le rayon visuel a pénétré réellement dans l'espace, en traversant l'épaisseur entière de la couche stellaire qui nous environne. »

Dans un grand nombre de ses points, la zone nébuleuse a été complétement résolue, de sorte que les étoiles s'y projettent sur un fond noir, absolument dépourvu de toute nébulosité. Mais dans d'autres régions, derrière les étoiles, on aperçoit encore une lueur blanchâtre qui montre que dans ces directions la Voie Lactée est réellement impénétrable.

La Voie Lactée, avons-nous dit, se déroule sur le fond du ciel, à peu près le long d'une circonférence de grand cercle de la sphère étoilée, abstraction faite, bien entendu, des irrégularités de sa forme et des inégalités de largeur qu'elle présente. Néanmoins, elle divise la voûte céleste en deux parties qui n'offrent pas tout à fait la même étendue, la plus petite des deux étant celle qui renferme les Poissons, la Baleine, ou si l'on veut les constellations voisines du point équinoxial du Printemps.

Il résulte évidemment de cette apparence générale, que la Voie Lactée entoure de toutes parts le lieu que le Soleil occupe dans l'espace.

C'est à peu près au centre de cette gigantesque agglomération d'étoiles, vers le milieu de l'épaisseur, et près de la région où a lieu la séparation de la zone en deux couches ou lames principales, que se trouve, perdu dans ce tourbillon de mondes, notre petit monde solaire, dont les dimensions nous ont semblé d'abord si grandes, qu'un second aperçu de l'univers stellaire nous a montré comme une étoile de second ou de troisième ordre, et qui maintenant se trouve n'être plus qu'un atome dans la poussière lumineuse de la Voie Lactée.

La position du Soleil dans la zone rend compte de l'aspect général de tout le firmament, et démontre en outre que toutes

les étoiles çà et là disséminées, et en apparence éloignées de la grande nébuleuse, en font vraisemblablement partie.

En effet, quand du point où nous sommes situés, le rayon visuel est dirigé dans le sens de la longueur de la couche stellaire, il rencontre des files pour ainsi dire indéfinies d'étoiles et d'amas d'étoiles, qui donnent à la Voie Lactée sa densité et son éclat maximum. Si, au contraire, l'œil regarde dans des directions de moins en moins inclinées, le rayon visuel traverse des couches de moins en moins épaisses, et la densité doit décroître avec une grande rapidité. Enfin, dans le sens perpendiculaire à l'épaisseur de la couche, les

Fig. 157. Coupe géométrique de la Voie Lactee. Position du Soleil d'après Herschel.

étoiles doivent paraître dispersées, comme cela a lieu dans les parties du ciel les plus éloignées en apparence de la grande zone nébuleuse. « C'est ainsi, dit J. Herschel, dans ses *Outlines of Astronomy*, qu'on voit une faible brume répandue dans l'atmosphère en couches d'une mince épaisseur, paraître à l'horizon comme un banc nébuleux d'une densité très-prononcée, par le simple effet de l'accroissement rapide du rayon visuel. »

La figure 157, qui représente d'après les vues d'Herschel, une coupe de la Voie Lactée, perpendiculaire à son épaisseur et dans le sens du grand diamètre qui passe par le

lieu du Soleil, rend l'explication précédente très-aisée à concevoir.

En comparant l'éclat photométrique des étoiles des divers ordres de grandeur, avec l'ordre des distances probables, W. Herschel est arrivé aux plus étonnantes considérations sur les dimensions de la Voie Lactée.

Les étoiles visibles à l'œil nu comprennent, on le sait, les six premiers ordres de grandeur. L'illustre astronome de Slough établit qu'en moyenne celles du sixième ordre, c'est-à-dire les plus petites étoiles visibles à l'œil nu, sont 12 fois plus éloignées que les étoiles de première grandeur. Partant de là, et calculant la puissance de pénétration de ses télescopes dans l'espace, il arrive à cette conséquence, qu'il aperçoit dans les profondeurs du ciel des étoiles situées à une distance 2300 fois plus considérable que la distance moyenne des étoiles de premier ordre. Et cependant, Herschel reconnaissait que l'étendue visible de la Voie Lactée, dans certaines de ces régions, ne faisait qu'augmenter avec la puissance des instruments, que même son grand télescope de 40 pieds ne parvenait point aux limites de la nébuleuse qu'il déclare *insondable*.

Maintenant, qu'on se rappelle la distance effrayante où nous sommes déjà de l'étoile la plus rapprochée de notre monde, distance telle que la lumière met des années à la franchir, et l'on arrivera à ce résultat prodigieux, que la Voie Lactée, dans la direction des plus lointaines régions accessibles à notre vue, exigerait pour être traversée de part en part par un rayon lumineux, plus de dix mille années. Ainsi, lorsque mettant l'œil à l'oculaire d'un des grands instruments d'astronomie, nous percevons sur le fond noir du ciel les points lumineux les plus faibles, nous recevons sur notre rétine l'impression d'un mouvement ondulatoire, parti, il y a dix mille ans, de la masse incandescente de soleils pareils au nôtre, et faisant comme lui partie du même groupe nébuleux.

Évaluant l'épaisseur de la Voie Lactée, d'après sa largeur apparente, Herschel arrive à ce résultat que cette épaisseur est environ 80 fois plus grande que la distance des étoiles

de première grandeur. Ainsi, la couche stellaire déborde de beaucoup, dans ce sens, l'étendue de la vue simple. D'où résulte cette conséquence, déjà énoncée plus haut, que « non-seulement notre Soleil, mais toutes les étoiles que nous pouvons voir à l'œil nu, sont profondément plongées dans la Voie Lactée et en font une portion intégrante[1]. »

1. Struve, *Études d'astronomie stellaire.*

CHAPITRE IX.

APPLICATIONS DE L'ASTRONOMIE AUX SCIENCES ET AUX ARTS.

I

USAGE DES ÉCLIPSES DANS LA CHRONOLOGIE.

La chronologie, qui est l'art ou la science de fixer les époques précises des événements passés, emploie deux méthodes différentes pour résoudre les problèmes qu'elle se pose: la première emprunte ses preuves aux faits historiques eux-mêmes, aux traces qu'ils ont laissées dans les monuments ou dans les écrits des historiens; l'autre méthode est tirée de l'astronomie.

Parmi les phénomènes astronomiques propres à fournir à l'histoire le genre de preuves dont il s'agit, il faut mettre au premier rang les éclipses: aussi le célèbre ouvrage intitulé *l'Art de vérifier les dates* renferme-t-il une table complète des anciennes éclipses de Lune et de Soleil.

Nous avons vu que la connaissance exacte des mouvements relatifs de ces deux astres permet aux astronomes de calculer d'avance les époques précises des éclipses futures. Mais il est bien facile de comprendre qu'il est pareillement possible de calculer les époques des éclipses passées, et dès lors de fixer la date d'un événement remarquable, quand on sait que ce

événement coïncidait par exemple avec une éclipse totale de Soleil ou de Lune.

Voici un exemple qui fera comprendre le genre d'utilité que la chronologie peut tirer des théories astronomiques ; nous l'empruntons à *l'Astronomie populaire* de F. Arago :

« Hérodote raconte que, pendant une bataille engagée entre les Mèdes et les Lydiens, il arriva une éclipse totale de Soleil qui frappa de terreur les deux armées, ce qui amena un arrangement pacifique entre les deux nations. En quelle année cela arriva-t-il ? Pline et Cicéron s'accordent à placer l'événement à une date qui correspond à 585 avant Jésus-Christ. Cette date fut adoptée par Riccioli, Newton, etc.

« Scaliger, en se servant des tables défectueuses de son temps, trouva de son côté, par le calcul, que l'éclipse arriva dans l'année 583 avant Jésus-Christ.

« D'autres, sur des données plus ou moins incertaines, tels que Usher, Costard, etc., trouvèrent, le premier l'année 601, le second l'année 630, etc. Enfin, à l'aide des tables les plus modernes et les plus exactes du Soleil et de la Lune, Baily, dans un Mémoire imprimé dans les *Transactions philosophiques* de 1811, a prouvé que l'éclipse dont parle Hérodote n'a pu arriver ni antérieurement à 629, ni postérieurement à 525. La date exacte correspondante à une éclipse totale dans l'Asie Mineure, où les deux armées ennemies se rencontrèrent, est le 30 septembre 610 avant Jésus-Christ. Ainsi se trouve réglé par un calcul astronomique un point de l'histoire ancienne sur lequel les opinions avaient tant varié. »

Outre les éclipses, les chronologistes emploient aussi les occultations d'étoiles ou de planètes par la Lune, ou encore les positions occupées par le Soleil dans le zodiaque, à l'époque d'un équinoxe ou d'un solstice

II

APPLICATION DE L'ASTRONOMIE A LA NAVIGATION. — MÉTHODE DE NAVIGATION PAR L'ESTIME, A L'AIDE DU LOCH ET DE LA BOUSSOLE. — DÉTERMINATION DES LONGITUDES PAR LES DISTANCES DU SOLEIL OU DES ÉTOILES A LA LUNE. — TABLES DE LA LUNE.

Nous avons fait voir, dans le chapitre 1er, comment la latitude et la longitude d'un lieu de la Terre peuvent être déterminées par l'observation de la hauteur du pôle, par les signaux de feu ou les chronomètres réglés sur l'heure du méridien pris pour origine. La solution de ces problèmes montre combien l'astronomie est utile aux progrès des sciences géographiques, puisque l'exactitude des cartes générales ou particulières dépend du nombre des points ainsi déterminés et de la précision avec laquelle on a observé leurs coordonnées terrestres.

Mais l'astronomie n'est pas moins indispensable à la navigation. D'abord, en fournissant les moyens de construire de bonnes cartes, elle donne aux navigateurs un premier élément et des repères indispensables à la fixation de la route qu'il doit suivre sur les mers.

Dans les temps anciens, on ne s'était guère hasardé loin des côtes; la Méditerranée, les contours occidentaux de l'Espagne, de la Gaule, ou dans l'Orient les mers de l'Inde, étaient le champ le plus vaste des expéditions maritimes : la connaissance des lieux, due à une plus ou moins longue expérience, suffisait aux pilotes pour guider leurs navires. Et cependant déjà ils se servaient du ciel étoilé, de la hauteur plus ou moins grande des constellations connues, pour calculer approximativement leur position en mer.

Depuis que la découverte de l'Amérique, de l'Afrique australe a multiplié les voyages au long cours, on a senti la nécessité de demander aux théories astronomiques les services que les progrès de la science leur permettaient de rendre à

un art aussi indispensable aux relations de toute sorte, établies entre les nations les plus éloignées de la Terre.

Le premier et le plus important de ces services a été la construction de cartes bien dressées, et il faut dire que les navigateurs eux-mêmes ont largement contribué à ce grand travail, que les géographes poursuivent toujours de concert avec les marins.

Une fois en mer et muni des cartes représentant les régions de la Terre qu'il doit parcourir, le marin, dont le navire a perdu de vue les côtes, a besoin à chaque instant de déterminer la direction de sa route, ainsi que la distance où il se trouve, suivant cette direction, du point vers lequel il se dirige. Or, il est clair que s'il pouvait à tout moment pointer sur sa carte le lieu précis de l'Océan où se trouve son navire, rien ne serait plus simple que d'obtenir, par une opération graphique, les données dont nous parlons.

La navigation par *estime* répond en partie au besoin dont il s'agit, mais d'une façon trop insuffisante pour qu'elle ne soit pas incessamment contrôlée par les méthodes astronomiques. Pour connaître leur direction, les marins, nous l'avons dit dans l'Introduction, se servent de la boussole, qui leur donne approximativement le méridien du lieu. Mais la déclinaison de l'aiguille aimantée varie d'un lieu à l'autre suivant des lois encore peu connues, et d'ailleurs elle est sujette à des perturbations qui peuvent donner lieu à des erreurs dangereuses.

Pour mesurer le chemin parcouru, dans la navigation par estime, les marins se servent d'un instrument appelé *loch*, qui est formé d'une planche triangulaire lestée de plomb et portant une corde divisée en longueurs égales. On jette l'instrument à la mer, où il reste en place pendant que le navire poursuit sa course. On voit alors, par le nombre des nœuds que le déroulement de la corde fait défiler en un temps donné, quelle est la vitesse moyenne du navire. Mais le loch n'est guère plus exact, dans ses indications, que la boussole : les courants, les agitations des tempêtes sont des causes fréquentes d'erreur.

C'est donc aux observations astronomiques que les naviga-

teurs sont obligés d'avoir recours, du moins pour contrôler, toutes les fois que le ciel et le temps le leur permettent, les résultats de l'estime. Toute la question, pour eux, est de pouvoir déterminer la latitude et la longitude du navire.

En observant, à l'aide d'un instrument particulier appelé *sextant*, soit une étoile, soit le centre du Soleil, ils obtiennent la distance zénithale de l'astre, et par des formules connues en déduisent à la fois la latitude et l'heure du lieu où ils se trouvent. Il faut, pour cela, observer une des étoiles dont la position est donnée par les tables de la *Connaissance des temps*.

L'heure du lieu étant connue, en observant celle que marque un chronomètre réglé sur le méridien de Paris, la différence de ces deux heures donne la longitude.

Comme les chronomètres sont des instruments très-délicats, sujets à se déranger, les marins obtiennent l'heure de Paris en observant certains phénomènes astronomiques dont l'instant est calculé d'avance, pour Paris même, dans la *Connaissance des temps*. Ce sont, par exemple, les éclipses de Soleil, — celles de Lune seraient excellentes, s'il était possible d'observer avec quelque précision le moment où l'un des points du disque entre dans l'ombre; — ce sont encore les éclipses des satellites de Jupiter et les distances d'étoiles connues au bord du disque de la Lune.

Les tables de la Lune, perfectionnées par les progrès successifs des théories astronomiques, ont permis aux astronomes de calculer d'avance les distances d'un certain nombre d'étoiles remarquables au centre de la Lune, pour tous les jours de l'année, et telles qu'on les observerait du centre de la Terre. Les heures précises où ces distances ont lieu sont données en temps vrai de Paris, et la *Connaissance des temps* les marque de trois en trois heures.

Après avoir réglé son chronomètre sur le temps vrai du lieu où il se trouve, le marin observe la distance angulaire d'une des étoiles au centre de la Lune, et il la réduit, par des formules connues, à ce qu'elle serait s'il observait du centre de la Terre. Consultant ensuite la *Connaissance des temps*, il trouve l'heure de Paris correspondante, et en faisant la

différence avec l'heure du lieu, en déduit la longitude du navire.

On peut aussi arriver au même résultat en mesurant la distance des deux centres du Soleil et de la Lune, le commencement ou la fin d'une éclipse, enfin les occultations des étoiles par la Lune.

Quant aux éclipses des satellites de Jupiter, dont nous allons parler bientôt à un autre point de vue, ce sont aussi des phénomènes dont les instants précis sont calculés d'avance par les astronomes et insérés dans les tables à l'usage des navigateurs. Comme ils ont nécessairement lieu au même instant physique pour tous les points de la Terre, le marin qui les observe et qui consulte en même temps les tables, peut donc trouver l'heure correspondante de Paris. En comparant cette heure à celle du lieu, il a aussi sa longitude.

Telles sont les principales applications de l'astronomie à la navigation. Grâce à elles, le marin peut déterminer sa route avec une exactitude que les moyens ordinaires ne comportent pas, et qui sert d'ailleurs de contrôle à ces moyens eux-mêmes.

III

LES MARÉES. — HAUTES ET BASSES MERS. — PÉRIODICITÉ DES MARÉES COMPARÉE AU MOUVEMENT DE LA LUNE. — MARÉES DES SYZYGIES. — CAUSES DES MARÉES. — HAUTEUR DE LA MARÉE DANS UN LIEU DONNÉ; ÉTABLISSEMENT DU PORT.

Nous venons de voir quels services l'astronomie rend chaque jour à l'art de la navigation, en permettant aux marins de fixer avec exactitude la position de leurs navires à la surface des mers. Elle leur rend encore des services d'un autre ordre en calculant à l'avance l'intensité des marées, et en indiquant les heures où l'entrée et la sortie des ports sont plus ou moins favorisées par ces phénomènes.

Tout le monde sait que deux fois par jour, à 12 heures 25 minutes d'intervalle environ, les côtes de l'Océan offrent

le spectacle de la marée montante : le flot peu à peu s'élève, envahit la plage qu'il recouvre à une hauteur de plus en plus grande, et après 6 heures d'intumescence atteint son maximum. C'est d'ailleurs un beau tableau que celui de ces lames frémissantes qui viennent, avec une croissante fureur, battre les galets et le pied des falaises, en projetant dans l'air leur écume salée.

A peine l'instant de la *haute mer* est-il atteint [1], que le *flot* ou le *flux* cesse; la marée descendante commence, et le *jusant* ou le *reflux* succède au *flot*. La mer abandonne alors la plage qu'elle avait envahie, et peu à peu redescend jusqu'à son point de départ : on a alors la *basse mer* ou la *marée basse*. Puis recommence une nouvelle marée montante, suivie d'une basse mer, et ainsi de suite.

Il faut dire que l'instant de la basse mer n'est pas au milieu de l'intervalle qui sépare deux pleines mers consécutives, le flux étant d'une durée plus courte que celle du reflux, ou, si l'on veut, la mer mettant plus de temps à descendre qu'à monter. Cette différence varie suivant les ports : de 16 minutes seulement à Brest, elle est, au Havre, de 2 heures 16 minutes.

Tel est, en gros, le phénomène des marées. Si l'on s'était borné à l'observation de cette périodicité des mouvements de la mer, la science n'eût pas pénétré bien profondément dans le mystère de leurs causes; elle ne pourrait prédire, comme elle le fait sûrement aujourd'hui, l'intensité des marées pour les différents ports, les époques précises des plus hautes mers, offrant ainsi à la navigation des indications précieuses.

Avant d'aborder l'exposé des causes, nous allons donc, pour nous conformer à la marche naturelle de la science, préciser davantage les faits.

L'intervalle de deux pleines mers, avons-nous vu, est de 12 heures 25 minutes. Il en résulte que, d'un jour à l'autre, la pleine mer retarde de 50 minutes. Ainsi, la période journalière du phénomène est précisément égale au jour lunaire, qui dure aussi 24 heures 50 minutes. En d'autres termes,

1. *On dit alors* que la mer est *étale*.

les retards successifs des pleines mers sont ceux que présentent les passages successifs de la Lune au méridien.

Remarquons encore ceci : 50 minutes de retard par jour produisent, en 14 jours trois quarts environ, un retard total de 12 heures; c'est un retard de 24 heures ou d'un jour, en 29 jours et demi, c'est-à-dire dans la période d'une lunaison. Les heures des marées sont donc les mêmes de quinze en quinze jours, avec cette différence que celles du matin deviennent celles du soir, et réciproquement. Au bout du mois lunaire, l'heure redevient identiquement la même.

Les faits que nous avons constatés jusqu'ici n'ont trait qu'aux heures des marées et à leurs variations. Disons un mot maintenant de l'intensité du phénomène.

Cette intensité est elle-même fort variable pour une même mer et pour un même port; mais là encore se présente une remarquable périodicité, qui montre que le phénomène se lie aux positions relatives du Soleil, de la Lune et de la Terre. C'est vers les environs de la nouvelle et de la pleine Lune que la marée haute atteint un maximum, tandis que la marée basse correspondante descend au point le plus bas. Ce sont les *grandes marées*, ou les marées des *syzygies*[1]. La hauteur des marées décroît alors de plus en plus, jusqu'à l'époque du premier et du dernier quartier de la Lune. On a alors les *mortes eaux* ou marées des *quadratures*. Puis, à partir de ces deux époques, jusqu'aux syzygies, la hauteur des pleines mers reprend sa marche croissante

Mais à la vérité la plus haute, comme la plus basse marée, ne tombe pas le jour même de la phase lunaire : dans tous les ports de l'Océan, il y a une différence de 36 heures ou d'un jour et demi. C'est donc la troisième marée, qui suit la pleine et la nouvelle Lune, qui est la plus grande, comme aussi la plus petite marée est la troisième qui suit les quadratures.

La hauteur des marées varie encore avec les déclinaisons de la Lune et du Soleil; elles sont d'autant plus grandes que les deux astres sont plus voisins de l'équateur. Deux fois par

1. On les nomme *grandes eaux*, malines ou reverdies.

an, vers le 21 mars et le 22 septembre, le Soleil est dans l'équateur même. Si, à la même époque, la Lune est voisine du même plan, les hautes marées sont les plus considérables de toutes. Ce sont les marées syzygies *équinoxiales*, parce que la Terre est alors à l'équinoxe du printemps ou à l'équinoxe d'automne. Au contraire, les plus faibles marées ont lieu vers les solstices, si, en même temps que le Soleil, la Lune atteint sa plus petite ou sa plus grande hauteur méridienne.

Enfin, les distances réelles de la Lune et du Soleil à la Terre ont aussi leur influence sur la hauteur des marées. Toutes choses égales d'ailleurs, la hauteur d'une marée est d'autant plus grande que les deux astres sont plus rapprochés de la Terre. Ainsi les marées du solstice d'hiver sont plus fortes que celles du solstice d'été.

Telles sont les circonstances générales qui caractérisent les mouvements périodiques de la mer. Mais il ne faut pas oublier que ce ne sont pas les seules : la force et la direction des vents, la configuration et l'orientation des côtes, la profondeur et l'étendue des mers, les circonstances qui tiennent aux lieux et au temps, sont autant d'influences multiples qui compliquent singulièrement les marées.

Ainsi tout le monde sait que les mers isolées, comme la mer Caspienne, ou peu étendues et communiquant avec l'Océan par des détroits resserrés, comme les mers Noire et Méditerranée, n'ont que des marées insensibles. Les côtes opposées de l'Atlantique, qui se présentent en regard, à l'ouest et à l'est les unes des autres, éprouvent des marées fort inégales. Il en est de même des côtes orientales de l'Asie, qui ont de fortes marées, tandis qu'à l'autre rive du Pacifique et dans les archipels océaniques, le flux, très-régulier, n'atteint qu'une faible hauteur.

Nous verrons tout à l'heure que, même pour des ports situés sur les côtes d'une même mer, l'intensité des marées est extrêmement variable.

La raison de ces différences de hauteur tient en grande partie à des circonstances locales. Ainsi les ports de la Manche subissent de fortes marées, parce que le mouvement

des eaux trouve un obstacle dans le resserrement des côtes; et plus on pénètre dans l'intérieur du golfe, plus est considérable la hauteur de la marée.

La marée se fait sentir, dans les fleuves, à une distance d'autant plus grande de leur embouchure, que la largeur, la profondeur, sont plus fortes. Au moment de la haute mer, les eaux du fleuve refluent, remontent son cours, mais la propagation de cette marée fluviale ne se fait que progressivement et en retardant de plus en plus sur l'heure de la marée océanique. Il résulte de là de curieux phénomènes, connus en France sous les noms de *mascaret* et de *barre*, dans l'Amérique méridionale sous celui de *pororoca*.

Ce sont les actions combinées de la Lune et du Soleil sur la masse liquide dont notre globe est aux trois quarts entouré, qui produisent les mouvements alternatifs du flux et du reflux.

Quand deux corps, tels que la Terre et la Lune, sont en présence, les molécules dont l'un et l'autre se composent ont une tendance mutuelle, connue sous le nom de *gravitation*, dont l'intensité varie en raison des masses, et inversement au carré des distances. Voyons comment cette action se fait sentir, de la Lune aux molécules liquides dont la mer est formée.

La Terre ayant la forme d'un sphéroïde, la couche liquide qui la recouvre aurait une forme exactement semblable, et constamment la même, sauf les variations accidentelles dues aux causes météorologiques, si la Lune et le Soleil n'existaient point.

Considérons la Lune à un moment donné et isolément. Joignons, par une ligne idéale, son centre au centre de la Terre : cette ligne rencontrera la surface du globe en deux points diamétralement opposés. L'un, le plus rapproché de la Lune, sera le lieu de la Terre pour lequel l'astre des nuits sera au zénith; le point opposé aura la Lune au nadir. En outre, tous les lieux de la Terre qui ont même longitude que les premiers verront, à cet instant, la Lune passer au méridien. L'attraction de la Lune sur les molécules liquides les plus *voisines contre-balance* en partie l'attraction de la Terre :

elle diminue leur pesanteur dans le sens de la verticale. Ces molécules, que leur fluidité et leur indépendance n'attachent point au sol, à la partie solide de la Terre, s'élèvent donc en vertu de cette attraction. Il en est de même, mais dans une plus faible mesure, pour les molécules voisines, dans tout l'hémisphère tourné vers la Lune, l'attraction étant d'autant plus faible que ces molécules s'éloignent davantage du point qui est comme le sommet de l'hémisphère tourné vers la Lune.

Il résulte de là que la nappe liquide qui recouvre cet hémisphère s'allonge, se tuméfie du côté de la Lune, et, au lieu de conserver sa forme sphérique, prend — toutes proportions gardées, bien entendu — celle d'un œuf. Il y a marée haute au sommet, marée basse à tous les lieux qui ont la Lune à l'horizon. Si la Terre n'avait pas de mouvement de rotation, cette marée serait permanente, et les eaux resteraient ainsi en équilibre, ou du moins suivraient le seul mouvement de révolution de la Lune : les marées n'auraient d'autre période que les lunaisons. Mais la Terre, en tournant, présente à la Lune toute sa périphérie, de sorte que l'onde suit le parallèle qui correspond à la position de notre satellite.

Jusqu'ici, on s'explique bien la haute et la basse mer pour l'hémisphère tourné vers la Lune : mais comment se fait-il que les eaux s'allongent aussi, au même instant, à l'extrémité de l'hémisphère opposé ?

On va se rendre compte aisément de cette similitude.

L'attraction lunaire se fait sentir à la fois sur toutes les molécules qui composent la Terre, mais son énergie est d'autant plus faible que ces molécules sont plus éloignées. Si cette action s'exerçait sur tous les points avec une égale intensité, il en résulterait un déplacement total vers la Lune, mais sans aucune déformation. L'inégalité d'attraction fait que les molécules les plus éloignées restent en arrière : leur pesanteur vers la Terre en est diminuée, et toute la couche liquide de l'hémisphère opposé à la Lune prend précisément la même forme que celle qui est en avant.

Le problème soumis à l'analyse mathématique indique, pour la forme générale de la nappe de l'Océan, celle d'un

ellipsoïde, allongé dans la direction des rayons de la Terre qui aboutissent à la Lune à chaque instant[1].

Il y a donc marée haute aussi souvent que la Lune passe au méridien supérieur ou inférieur, c'est-à-dire toutes les 12 heures 25 minutes, et marée basse, toutes les fois qu'elle est à l'horizon d'un lieu, c'est-à-dire dans des périodes d'égales durées.

Mais ce n'est pas la Lune seule qui agit; il y a aussi des marées produites par l'attraction du Soleil. La masse énorme de cet astre donnerait lieu à d'immenses mouvements, si sa distance, 400 fois plus grande que celle de la Lune, ne contre-balançait pas l'intensité due à cette masse. Les marées solaires, bien que beaucoup plus faibles que les marées lunaires, tantôt s'ajoutent à celles-ci, tantôt les contrarient. Elles s'ajoutent, lorsque les deux astres sont sur une même ligne avec la Terre, ce qui arrive aux syzygies, nouvelle et pleine Lune. (Fig. 158.)

Les actions des deux astres se contrarient, lorsque la Lune est à angle droit avec le Soleil, et, dans ce cas, la marée totale ou résultante est minimum.

Le calcul montre que l'action luni-solaire est d'autant plus intense que les astres sont plus près de l'équateur. De là, les grandes marées équinoxiales.

Enfin, l'action varie en raison inverse du cube de la distance : on comprend donc que les marées soient plus fortes quand la Lune et le Soleil sont plus voisins de la Terre.

Tel est, en résumé, le principe de la théorie des marées.

Ces mouvements quotidiens et irrésistibles sont soumis à des lois immuables : ils sont, grâce à la densité de l'eau de la mer, densité inférieure à celle du noyau solide que cette eau recouvre, renfermés entre d'étroites limites. Les lois naturelles suffisent à « mettre un frein à la fureur des flots. »

Les astronomes savent donc calculer d'avance les hauteurs relatives des marées pour tous les jours de l'année, ainsi que les heures de ces phénomènes. Les résultats sont insérés soit

1. *L'ellipsoïde* est un solide engendré par la révolution d'une ellipse *tournant autour* de son grand axe.

dans l'*Annuaire du Bureau des longitudes*, soit dans des an-

Fig. 153. — *Actions* combinées de la Lune et du Soleil sur les eaux de la mer. Marée luni-solaire des syzygies.

nuaires spéciaux, tels que l'*Annuaire des marées des côtes de France.*

On prend pour unité de hauteur la moitié de la hauteur moyenne de la marée totale qui arrive un jour et demi environ après la syzygie, quand le Soleil et la Lune se trouvent tous deux dans l'équateur et à leurs moyennes distances à la Terre. Puis, comme les hauteurs des pleines mers varient dans les différents ports, en raison des circonstances locales, on a déterminé par l'expérience l'unité de hauteur particulière des marées dans chacun de ces ports, de sorte qu'il suffit ensuite de multiplier la hauteur donnée dans les tables pour un jour particulier de l'année, par l'unité de hauteur du port, pour avoir l'intensité du phénomène dans ce port même. Par exemple, la plus forte marée de 1866 a eu lieu un jour et demi après la nouvelle Lune du 15 avril, à 7 heures 12 minutes du matin, c'est-à-dire le 16 avril, à 7 heures 12 minutes du soir. La table des hauteurs donne 1.13 pour l'intensité de la marée à cette époque. Comme l'unité de hauteur du port de Brest est $3^m.21$, le produit $3^m.21 \times 1.13 = 3^m.63$ indique quelle sera, dans ce port, la hauteur de la marée à la date du 16 avril au soir[1].

Voici maintenant ce qu'on appelle *établissement du port.* Nous avons vu que la plus haute marée n'a pas lieu à l'époque précise d'une syzygie, mais un jour et demi après environ. De plus, ce n'est pas à l'heure même du passage de la Lune au méridien qu'a lieu la haute mer, mais un peu après. Il existe un retard constant qui, pour chaque port, provient des circonstances locales. Or, si l'on détermine la valeur de ce retard, à l'époque des syzygies équinoxiales, quand le Soleil et la Lune sont à leurs moyennes distances de la Terre, on a un nombre qui se nomme l'*établissement du port.*

Ainsi l'établissement du port est, pour Brest, de 3 heures 46 minutes; pour Cherbourg, de 7 heures 58 minutes, etc.

1. Le plus souvent, la hauteur ainsi calculée se trouve modifiée par les circonstances météorologiques. Si le vent souffle de la pleine mer, la marée est plus forte; elle est, au contraire, diminuée s'il vient de la terre. L'augmentation ou la diminution dépend d'ailleurs aussi de l'intensité du vent.

A l'aide de ces nombres déterminés par l'observation et qui, comme nous venons de le dire, varient en raison du plus ou moins de facilité que la configuration des côtes apporte à la propagation de la marée, on peut calculer d'avance les heures de la haute ou de la basse mer dans un port quelconque. Les marins sont ainsi avertis des instants qui seront les plus favorables soit à la sortie, soit à l'entrée de leurs navires.

IV

DÉTERMINATION DE LA VITESSE DE LA LUMIÈRE PAR LES ÉCLIPSES DES SATELLITES DE JUPITER.

La planète Jupiter est accompagnée, dans son mouvement de translation autour du Soleil, de quatre satellites qui circulent autour d'elle dans des périodes régulières. Les plans dans lesquels s'effectuent les mouvements de ces petits corps coïncident, à peu de chose près, avec le plan de l'orbite de Jupiter.

Or, Jupiter étant opaque projette derrière lui, c'est-à-dire à l'opposé du Soleil, un cône d'ombre dont l'axe est couché sur le plan de son orbite. Il en résulte que, dans leurs révolutions successives autour de la planète centrale, les satellites viennent traverser ce cône à l'époque de leurs oppositions. Pendant toute la durée du trajet dans l'ombre, la lumière que ces corps recevaient du Soleil est interceptée : ils subissent une éclipse.

Les éclipses des satellites de Jupiter, surtout celles des trois satellites les plus voisins de la planète, sont très-fréquentes ; et, de la Terre, il est aisé d'observer leurs émersions et leurs immersions en s'aidant d'une lunette de moyenne puissance. Quand le point lumineux entraîné par son mouvement de révolution autour de la planète vient à pénétrer dans le cône d'ombre, sa lumière s'éteint : c'est l'instant d'une *immersion*. Il continue alors sa course dans l'ombre jusqu'au

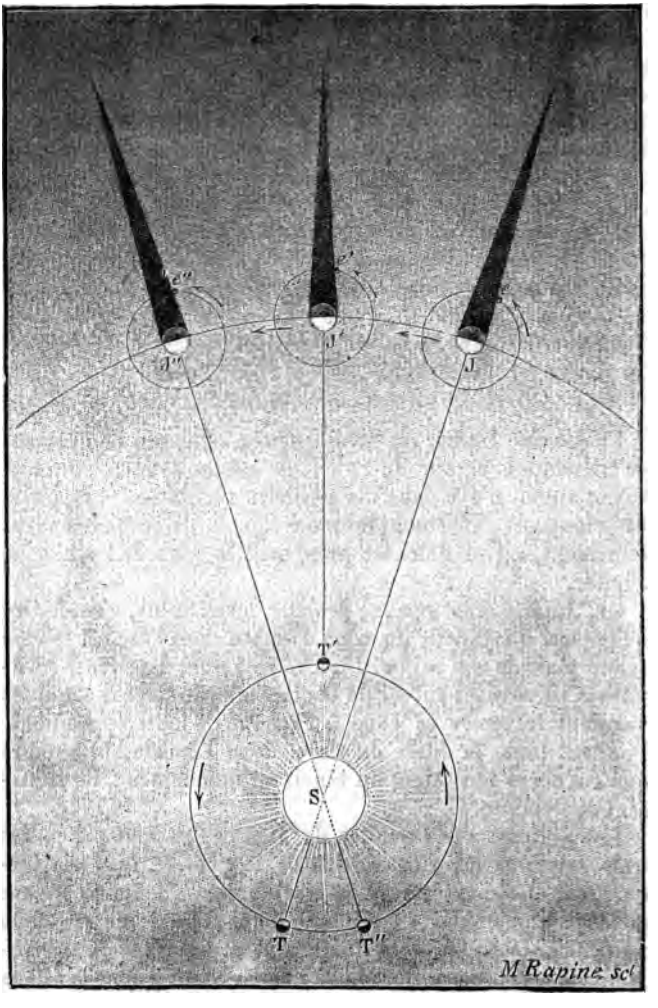


Fig. 159. Détermination de la vitesse de la lumière par les éclipses des satellite de Jupiter.

moment où, sortant du cône, sa lumière reparaît : c'est le moment de l'*émersion*.

Ces deux phénomènes ne sont pas visibles de la Terre, pendant la même éclipse, pour les deux satellites les plus voisins de Jupiter, ces satellites se trouvant masqués par le corps opaque de la planète tantôt au moment de leur immersion, tantôt au moment de leur émersion.

De plus, on ne peut les observer d'aucune façon à l'époque de la conjonction ou à celle de l'opposition, le cône d'ombre se trouvant alors entièrement caché par le disque de la planète, ainsi qu'on peut aisément s'en rendre compte à l'aide de la figure 159. Il est tout aussi facile de voir pourquoi ce sont les immersions qui sont visibles pour nous, depuis l'époque de la conjonction jusqu'à l'opposition suivante, tandis que les émersions au contraire sont visibles de l'opposition à la conjonction.

Jupiter, en effet, se meut dans le même sens que la Terre, mais beaucoup plus lentement qu'elle dans son orbite. Quand la Terre est en T et que Jupiter est en J sur le prolongement du rayon vecteur TS, c'est l'époque de la conjonction. A partir de cet instant, la Terre décrivant un certain arc sur son orbite, et Jupiter un arc de moindre amplitude sur la sienne, l'observateur se trouve porté à la droite du cône d'ombre de Jupiter, et dès lors peut voir les immersions des satellites. Les mêmes circonstances ont lieu jusqu'à l'instant où, la Terre étant en T′, Jupiter est en J′, toujours sur le prolongement du rayon, mais à l'opposé du Soleil, c'est-à-dire jusqu'à l'opposition.

Alors, par le fait des mouvements simultanés de la Terre et de Jupiter, la première de ces planètes se porte à gauche du cône d'ombre projeté par la seconde, et ce sont les émersions des satellites qui sont visibles, jusqu'à la nouvelle conjonction T″ J″.

Quant aux deux satellites les plus éloignés de Jupiter, l'inclinaison de leurs plans sur l'écliptique jointe à leurs plus grandes distances de la planète, fait que, de la Terre, on peut apercevoir leur immersion et leur émersion pendant la même éclipse.

Ces préliminaires bien compris, nous allons pouvoir facilement expliquer comment les astronomes ont pu déduire la vitesse de la lumière des observations des éclipses dont nous venons de parler.

Considérons, par exemple, le premier satellite de Jupiter, c'est-à-dire le plus voisin de la planète. Son mouvement de révolution est connu avec assez de précision pour que l'on puisse calculer avec une grande exactitude les intervalles de ses éclipses, c'est-à-dire les intervalles qui séparent soit deux immersions, soit deux émersions consécutives.

Or l'observation fait voir que les durées de ces intervalles ne sont pas constantes; qu'elles semblent se raccourcir à mesure que la Terre se rapproche de Jupiter, pour s'agrandir au contraire à mesure qu'elle s'en éloigne, tandis qu'elles sont sensiblement égales, aux deux époques où la distance de la Terre à Jupiter varie peu, c'est-à-dire à la conjonction et à l'opposition.

Si donc on calcule, d'après la durée moyenne des intervalles séparant deux immersions successives, l'époque d'une future immersion, et que l'on compare le résultat du calcul avec celui donné par l'observation, on trouvera que le phénomène semble en retard, si la Terre s'est éloignée de Jupiter, qu'il paraît au contraire en avance, si elle s'en est rapprochée. De plus, le retard ou l'avance se trouve toujours en proportion exacte avec l'augmentation ou avec la diminution de distance des deux planètes.

Il n'est donc pas douteux que la différence entre le résultat du calcul et l'observation ne provienne du temps que met la lumière à parcourir les distances inégales dont nous venons de parler.

On a trouvé que, de la conjonction à l'opposition ou de l'opposition à la conjonction, les accumulations successives de ces différences produisaient une avance ou un retard total d'environ 16 minutes 30 secondes. Or les distances TJ, T″J″ surpassent la distance T′J′ d'une même quantité qui est précisément le diamètre de l'orbite terrestre. Il faut donc 16 minutes 30 secondes à la lumière pour franchir la longueur de *ce diamètre,* ou si l'on veut, $8^{m}15^{s}$ pour parcourir sa moitié

qui est la distance du Soleil à la Terre, égale, comme on sait, à 147 500 000 kilomètres.

C'est, à peu près, une vitesse de 298 000 kilomètres ou de 74 500 lieues par seconde.

La découverte de la vitesse de la lumière par les éclipses des satellites de Jupiter est due à Rœmer, astronome danois, qui l'exposa dans un Mémoire présenté à l'Académie des sciences en 1675.

Depuis Rœmer, la découverte de l'aberration par Bradley vint confirmer à la fois et le mouvement de translation de la Terre et la propagation successive de la lumière dans l'espace. L'aberration prouve même que la vitesse moyenne de la Terre dans son orbite est la dix-millième partie de la vitesse de la lumière.

D'autre part, à l'aide d'autres méthodes, M. Léon Foucault et M. Fizeau sont parvenus, chacun de leur côté, à mesurer directement la vitesse de la lumière à la surface de la Terre. Le dernier de ces savants a trouvé le nombre que nous avons donné plus haut, nombre qui s'accorde avec les résultats des méthodes astronomiques, quand on adopte la nouvelle parallaxe du Soleil.

Un boulet de 12 kilogrammes, chassé par une charge de 6 kilogrammes de poudre, sort du canon avec une vitesse de 500 mètres par seconde. La lumière se meut près de 600 000 fois plus rapidement : nous venons de voir qu'elle vient du Soleil à nous en 8 minutes 15 secondes; le même boulet mettrait 9 ans et demi pour franchir la même distance

V

CADRANS SOLAIRES ET GNOMONS. — DÉTERMINATION DE LA MÉRIDIENNE PAR LA MÉTHODE DES OMBRES ÉGALES, ET PAR CELLE DE L'ALIGNEMENT AUX PÔLES. — GNOMONS; LEURS USAGES. — CADRAN SOLAIRE ÉQUATORIAL. — CADRAN HORIZONTAL; CADRAN VERTICAL MÉRIDIONAL ET VERTICAL DÉCLINANT.

L'heure d'un lieu dont la longitude est connue s'obtient aisément par l'observation du passage au méridien de l'une

des étoiles fondamentales. L'instant de ce passage donne le temps sidéral qu'il est aisé ensuite de transformer en temps solaire. Les marins emploient aussi d'autres méthodes. Mais les unes et les autres exigent des instruments spéciaux que les anciens ne connaissaient pas, et qui, aujourd'hui même, ne sont pas à la portée de la plupart des personnes qui ont besoin de régler leurs pendules et leur montres.

Les astronomes anciens se servaient d'instruments fixes appelés *gnomons*, d'un mot grec qui signifie *style droit, règle droite;* aujourd'hui on emploie de préférence les *cadrans* dont l'origine remonte à une très-haute antiquité et qui, comme les gnomons, donnent l'heure au moyen des ombres projetées sur un plan par un axe fixe, à l'opposé du Soleil. La gnomonique est la science qui apprend à construire les uns et les autres de ces instruments.

La construction d'un cadran solaire exige qu'on ait tracé préalablement la méridienne du lieu où l'instrument doit être établi. La même ligne fait partie essentielle d'un gnomon. Commençons donc par indiquer les moyens qui servent à tracer cette ligne.

Nous avons vu qu'on entend par méridienne la trace du plan méridien sur le plan de l'horizon. Lorsque, à midi vrai, le centre du Soleil atteint sa plus grande hauteur diurne, ce centre se trouve précisément dans le méridien. Dès lors, si, à cet instant, une tige droite est fixée verticalement sur le plan horizontal où l'on veut tracer la méridienne, l'ombre projetée sur ce plan par la tige sera dans le plan vertical qui passe par le centre du Soleil: elle coïncidera évidemment avec la méridienne cherchée. Comme le Soleil est alors à sa plus grande hauteur, l'ombre portée par le style est la plus courte possible; mais cette remarque ne permettrait pas de tracer la méridienne avec un peu de précision, parce que, un peu avant et un peu après midi, la longueur de l'ombre varie presque insensiblement et de quantités fort petites.

Il a donc fallu chercher une autre méthode, fondée sur l'égalité de longueur des ombres projetées par le style, quand le Soleil se trouve avant et après midi dans des plans verti*caux formant le* même angle avec le plan méridien. C'est sur-

tout à l'époque des solstices d'été ou d'hiver que cette égalité est rigoureuse, la déclinaison du Soleil variant alors d'une manière tout à fait inappréciable dans le cours de la journée.

Pour tracer la méridienne sur un plan dont l'horizontalité aura été constatée à l'aide du niveau, on fixera sur ce plan une tige métallique ou une règle de bois bien dressée dans une position rigoureusement verticale. On s'assurera de cette dernière condition au moyen du fil à plomb.

Du pied du style, on décrira une suite de circonférences concentriques, puis avant et après midi, on notera les points de ces circonférences où l'extrémité de l'ombre du style viendra successivement aboutir. Les angles formés par les rayons menés aux deux points marqués ainsi sur chaque circonférence seront nécessairement partagés en deux parties égales par la méridienne cherchée. Il suffira donc d'effectuer cette division par les procédés qu'indique la géométrie pour obtenir la direction de cette ligne. Les divers résultats obtenus se servent mutuellement de vérification.

C'est la méthode que nous avons indiquée au début de cet ouvrage (voy. page 5 et fig. 1). Seulement, comme nous l'avons dit déjà, il est préférable de se servir d'une tige à l'extrémité de laquelle on a fixé une plaque métallique percée d'un petit trou qui laisse passer les rayons solaires. Il se forme ainsi sur le plan horizontal une image ronde du Soleil, et l'on prend le centre de cette image de préférence à l'extrémité de l'ombre du style, qui est toujours mal terminée.

Le gnomon n'est pas autre chose, essentiellement, que l'appareil que nous venons de décrire.

Chez les anciens, c'était le plus ordinairement un grand obélisque élevé sur une place en plein air. Au sommet, était un globe ou une autre figure quelconque, et c'est l'ombre projetée par ce globe dont on notait les positions successives. Nous venons de dire qu'une plaque percée d'un trou est de beaucoup préférable.

Les gnomons servaient principalement à mesurer la hauteur méridienne du Soleil aux diverses époques de l'année.

En effet, le centre M de l'image du Soleil, le centre S de l'ouverture et le pied P de la verticale abaissée de ce dernier

point sur le sol, sont les trois sommets d'un triangle rectangle, dont deux côtés SP, MP sont connus. La longueur SP est déterminée une fois pour toutes, et la longueur MP se mesure aisément le jour où l'on fait l'observation.

On en déduit l'angle SMP, c'est-à-dire la hauteur angulaire du Soleil au-dessus de l'horizon.

C'est par ce moyen que les anciens astronomes avaient déterminé l'obliquité de l'écliptique. Ils mesuraient pour cela, au moyen du gnomon, la plus petite hauteur du Soleil, le jour du solstice d'hiver, sa plus grande hauteur le jour du solstice

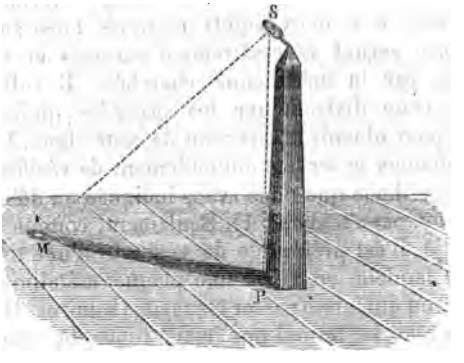


Fig. 160. Gnomon. Détermination de la hauteur du Soleil.

d'été. La demi-différence de ces deux hauteurs donnait évidemment l'angle des plans de l'écliptique et de l'équateur.

En s'en servant pour mesurer la hauteur du Soleil, à une heure quelconque de la journée, le gnomon permet de calculer cette heure même, si d'ailleurs on connaît la hauteur méridienne ou la déclinaison du Soleil, le jour de l'observation.

On peut encore tracer une méridienne, par la méthode de nuit ou d'alignement au pôle. Il suffit de connaître pour cela l'heure à laquelle l'étoile polaire passe au méridien, et de déterminer à cet instant le plan vertical qui la contient à l'aide de deux fils à plomb. L'*Annuaire du Bureau des longitudes*

donne l'heure de ce passage, en temps moyen, de 10 en 10 jours pour chaque année et pour le méridien de Paris. On déduit aisément de cette table l'heure du passage pour un autre lieu dont la longitude est connue.

Ces préliminaires posés, indiquons quel est le principe des cadrans solaires, et comment on procède à l'établissement des plus usités de ces appareils.

Dans l'intervalle d'un jour, le Soleil décrit, comme on sait, à peu de chose près un parallèle d'un mouvement uniforme. Son centre vient ainsi successivement coïncider avec les cercles de déclinaison qui ont reçu le nom de cercles horaires, décrivant de la sorte des arcs de 15° d'amplitude par heure de temps. Il est clair que si l'on savait déterminer à un instant quelconque de la journée la position du cercle horaire sur lequel le centre du Soleil se trouve à cet instant, l'heure serait connue par une simple transformation de degrés, minutes et secondes d'arc en heures, minutes et secondes de temps, à raison de 15° par heure.

Les cadrans solaires ont pour objet de substituer à ce calcul la construction géométrique des lignes qui marquent la trace des cercles horaires sur un plan donné, et de déterminer l'heure par la coïncidence de l'ombre d'un style avec les traces dont nous parlons.

Nous nous bornerons à donner le tracé des trois genres de cadrans solaires les plus simples et les plus usités : ce sont le cadran solaire *équinoxial* ou *équatorial*, le cadran solaire *horizontal* et le cadran solaire *vertical*.

Cadran équatorial. Imaginons un plan fixé parallèlement à l'équateur céleste. Sa trace sur un plan horizontal sera une ligne EO perpendiculaire à la méridienne NS, aboutissant par conséquent aux deux points Est et Ouest de l'horizon. La trace du plan méridien sur ce plan sera une ligne NH perpendiculaire à EO et qui formera avec la méridienne un angle égal au complément de la latitude du lieu (41° 10′ pour Paris).

En un point A du plan donné, élevons un style qui lui soit *perpendiculaire*. Ce style sera parallèle à l'axe du monde : il

sera donc incliné sur l'horizon d'un angle égal à la latitude du lieu (48° 50' pour Paris).

Décrivons du pied du style comme centre une circonférence et divisons-la, à partir du diamètre NH, en 24 parties égales par des rayons équidistants. Il est évident que ces rayons ne sont autre chose que les traces des 24 cercles horaires sur le plan parallèle à l'équateur. Mais, comme le style est également dans chacun de ces plans, dont il forme la commune intersection, quand le Soleil coïncidera avec l'un d'eux, l'ombre

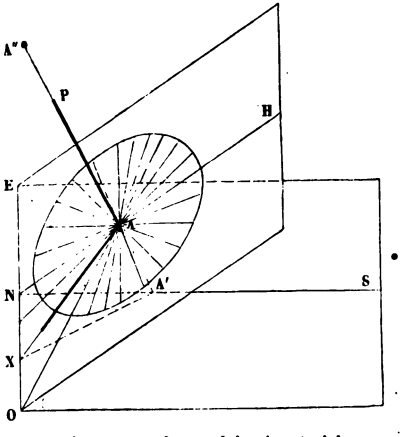


Fig. 161. Cadran solaire équatorial.

du style coïncidera elle-même avec le rayon qui forme sa trace, et marquera ainsi l'heure vraie de l'instant de l'observation.

La ligne NH est l'heure où le Soleil est dans le méridien, c'est-à-dire *midi vrai :* on la marquera XII^h. Les rayons situés à l'ouest de cette ligne donnent les heures de la matinée; ceux de la partie Est donnent les heures de l'après-midi. Le diamètre horizontal donne VI^h du matin et VI^h du soir.

Il est évident que pendant le printemps et l'été, l'ombre *sera donnée par la* partie supérieure du style, et se projettera

sur la face supérieure du cadran, puisqu'alors la déclinaison du Soleil est boréale. En automne et en hiver, cette ombre sera portée sur la face inférieure. Enfin à l'époque des équinoxes, le Soleil étant dans le plan du cadran, il sera nécessaire d'établir un rebord où l'ombre du style viendra se projeter.

On construit des cadrans équatoriaux transparents, qui permettent d'observer l'heure sur la même face du cadran à toutes les époques de l'année.

Cadran horizontal. Prolongeons le style PA (fig. 161) jusqu'au plan horizontal en A', et la ligne AX de X^h, jusqu'à la

Fig. 162. Cadran solaire horizontal.

trace EO ; puis joignons A'X. Cette dernière ligne est évidemment la trace du cercle horaire de X^h sur le plan horizontal. L'ombre portée par le style coïncidera donc, à cette heure-là, avec la ligne A'X. Une construction analogue donnera les traces horizontales des autres cercles horaires, et leur ensemble formera le cadran solaire horizontal, dont le style est toujours, comme on voit, une ligne parallèle à la ligne des pôles.

Le plus souvent, on expose les cadrans horizontaux sur une fenêtre, sur un pilier dans les jardins (fig. 162) ; mais on en construit de portatifs, dont l'usage exige dès lors qu'on sache

s'orienter, c'est-à-dire déterminer la méridienne du lieu où l'on observe.

Cadran méridional vertical. Si par la ligne OE (fig. 161) on mène un plan vertical, le style du cadran équatorial ira couper ce plan en un point A″. En joignant ce dernier point à tous ceux qui marquent les points de rencontre des lignes horaires avec OE, chacune des lignes obtenues de la sorte sera dans le

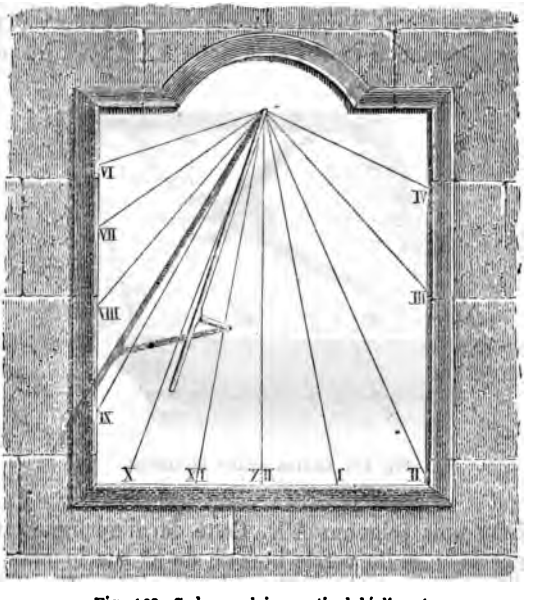


Fig. 163. Cadran solaire vertical déclinant.

cercle horaire correspondant, de sorte que l'ombre du style viendra coïncider avec elle, quand le Soleil se trouvera précisément dans ce cercle. On aura donc construit un cadran solaire vertical, et comme son plan est tourné vers le sud, ce sera un cadran vertical méridional.

Il est aisé de voir qu'un pareil cadran ne pourra donner les

heures que de 6 heures du matin à 6 heures du soir, de sorte qu'il suffira pour les saisons d'automne et d'hiver. Un cadran

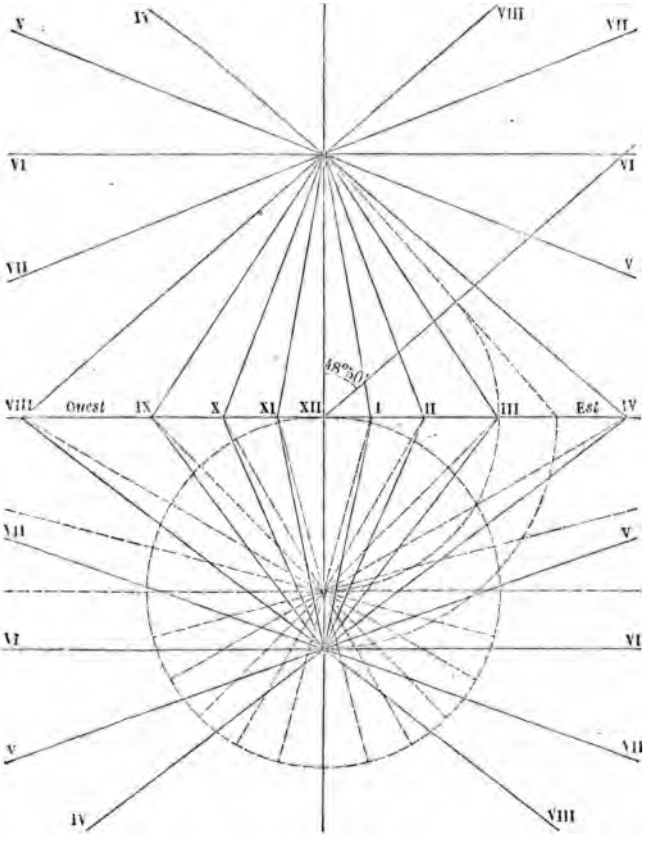


Fig. 164. Construction des cadrans solaires horizontaux ou verticaux.

tourné vers le nord compléterait ces indications en marquant les heures qui précèdent 6 heures du matin ou qui suivent 6 heures *du soir*, au printemps et en été.

Les cadrans verticaux se tracent d'ordinaire sur les murs des maisons ou des édifices publics, mais comme il est rare que ces murs se trouvent dans une direction perpendiculaire au méridien, on trace, en suivant toujours les mêmes principes, des cadrans verticaux qu'on nomme alors *déclinants*. La figure 163 représente un de ces cadrans tracés sur un mur vertical faisant un angle de 18 degrés avec la ligne Est-Ouest.

Les cadrans solaires marquent les heures données par le Soleil, c'est-à-dire le temps vrai. Si l'on veut s'en servir pour régler les pendules et les montres, il faut corriger leurs indications de l'équation du temps pour le jour de l'observation, ce qui donne alors le temps moyen.

Nous donnons ici, dans la figure 164, l'épure de la construction géométrique des lignes horaires d'un cadran horizontal, et de celles d'un cadran vertical méridional, déduites de la construction supposée d'un cadran solaire équatorial. Il est clair que celle-ci n'a aucunement besoin d'être réalisée matériellement : il suffit de connaître la latitude du lieu où l'on veut établir le cadran. Les lignes ponctuées de la moitié inférieure de l'épure ne sont autre chose que les lignes horaires du cadran équatorial rabattu sur le plan horizontal. Une fois tracées, elles donnent par leurs intersections avec la ligne *ouest-est* les points qu'il faudra joindre avec le pied du style, soit sur le plan horizontal, soit sur le plan vertical, pour obtenir les lignes horaires de chaque cadran. Enfin la position du pied du style s'obtient par le rabattement d'une ligne qui passe par le centre du cadran équatorial en faisant avec le plan vertical un angle égal au complément de la latitude du lieu.

VI

LE CALENDRIER. — DURÉE DE L'ANNÉE CHEZ LES ANCIENS. — RÉFORME JULIENNE; ANNÉES BISSEXTILES. — RÉFORME GRÉGORIENNE. — ORIGINE DE L'ANNÉE A DIFFÉRENTES ÉPOQUES. — NOMS ET DURÉES DES MOIS; JOURS DE LA SEMAINE. — CALENDRIER RÉPUBLICAIN. — COMPUT ECCLÉSIASTIQUE : CYCLE LUNAIRE; NOMBRE D'OR; ÉPACTE; LETTRE DOMINICALE; INDICTION ROMAINE ET CYCLE SOLAIRE

Chez les Romains, le premier jour de chaque mois recevait la dénomination de *calendes* — *calendæ* — que l'on écrivait en gros caractères au commencement du tableau contenant tous les jours de cette période de temps.

De là, le nom de *calendrier* pour désigner l'ensemble des tables où se trouvent marquées dans leur ordre naturel les divisions et les subdivisions du temps. Le mot *almanach* a la même signification, à peu près, que le mot calendrier, et les étymologistes le font dériver de l'arabe *man*, lune, les Orientaux ayant l'habitude de compter le temps par lunaisons ou mois lunaires.

Le calendrier moderne, généralement adopté par les peuples d'Europe et d'Amérique, est basé sur la longueur du jour moyen qui est l'unité fondamentale du temps, et sur la durée de l'année tropique, qui vaut un peu moins de 365 jours moyens et 1/4 de jour. Ce sont donc les deux mouvements de la Terre, sa rotation diurne et sa translation annuelle qui servent à mesurer le temps, en fournissant l'unité et son principal multiple.

Chez les anciens, la durée exacte de l'année ne fut pas bien connue, et pendant des siècles, sa durée fut fixée à 360 jours, qui équivalent à 12 lunaisons, si l'on compte 30 jours pour la durée de cette dernière période. Cette différence de plus de 4 jours par année devait produire en peu de temps une interversion complète dans les rapports qui lient les saisons aux mêmes époques de l'année. Aussi les Égyptiens

des étoiles fondamentales. L'instant de ce passage donne le temps sidéral qu'il est aisé ensuite de transformer en temps solaire. Les marins emploient aussi d'autres méthodes. Mais les unes et les autres exigent des instruments spéciaux que les anciens ne connaissaient pas, et qui, aujourd'hui même, ne sont pas à la portée de la plupart des personnes qui ont besoin de régler leurs pendules et leur montres.

Les astronomes anciens se servaient d'instruments fixes appelés *gnomons*, d'un mot grec qui signifie *style droit*, *règle droite;* aujourd'hui on emploie de préférence les *cadrans* dont l'origine remonte à une très-haute antiquité et qui, comme les gnomons, donnent l'heure au moyen des ombres projetées sur un plan par un axe fixe, à l'opposé du Soleil. La gnomonique est la science qui apprend à construire les uns et les autres de ces instruments.

La construction d'un cadran solaire exige qu'on ait tracé préalablement la méridienne du lieu où l'instrument doit être établi. La même ligne fait partie essentielle d'un gnomon. Commençons donc par indiquer les moyens qui servent à tracer cette ligne.

Nous avons vu qu'on entend par méridienne la trace du plan méridien sur le plan de l'horizon. Lorsque, à midi vrai, le centre du Soleil atteint sa plus grande hauteur diurne, ce centre se trouve précisément dans le méridien. Dès lors, si, à cet instant, une tige droite est fixée verticalement sur le plan horizontal où l'on veut tracer la méridienne, l'ombre projetée sur ce plan par la tige sera dans le plan vertical qui passe par le centre du Soleil: elle coïncidera évidemment avec la méridienne cherchée. Comme le Soleil est alors à sa plus grande hauteur, l'ombre portée par le style est la plus courte possible; mais cette remarque ne permettrait pas de tracer la méridienne avec un peu de précision, parce que, un peu avant et un peu après midi, la longueur de l'ombre varie presque insensiblement et de quantités fort petites.

Il a donc fallu chercher une autre méthode, fondée sur l'égalité de longueur des ombres projetées par le style, quand le Soleil se trouve avant et après midi dans des plans verticaux formant le même angle avec le plan méridien. C'est sur-

tout à l'époque des solstices d'été ou d'hiver que cette égalité est rigoureuse, la déclinaison du Soleil variant alors d'une manière tout à fait inappréciable dans le cours de la journée.

Pour tracer la méridienne sur un plan dont l'horizontalité aura été constatée à l'aide du niveau, on fixera sur ce plan une tige métallique ou une règle de bois bien dressée dans une position rigoureusement verticale. On s'assurera de cette dernière condition au moyen du fil à plomb.

Du pied du style, on décrira une suite de circonférences concentriques, puis avant et après midi, on notera les points de ces circonférences où l'extrémité de l'ombre du style viendra successivement aboutir. Les angles formés par les rayons menés aux deux points marqués ainsi sur chaque circonférence seront nécessairement partagés en deux parties égales par la méridienne cherchée. Il suffira donc d'effectuer cette division par les procédés qu'indique la géométrie pour obtenir la direction de cette ligne. Les divers résultats obtenus se servent mutuellement de vérification.

C'est la méthode que nous avons indiquée au début de cet ouvrage (voy. page 5 et fig. 1). Seulement, comme nous l'avons dit déjà, il est préférable de se servir d'une tige à l'extrémité de laquelle on a fixé une plaque métallique percée d'un petit trou qui laisse passer les rayons solaires. Il se forme ainsi sur le plan horizontal une image ronde du Soleil, et l'on prend le centre de cette image de préférence à l'extrémité de l'ombre du style, qui est toujours mal terminée.

Le gnomon n'est pas autre chose, essentiellement, que l'appareil que nous venons de décrire.

Chez les anciens, c'était le plus ordinairement un grand obélisque élevé sur une place en plein air. Au sommet, était un globe ou une autre figure quelconque, et c'est l'ombre projetée par ce globe dont on notait les positions successives. Nous venons de dire qu'une plaque percée d'un trou est de beaucoup préférable.

Les gnomons servaient principalement à mesurer la hauteur méridienne du Soleil aux diverses époques de l'année.

En effet, le centre M de l'image du Soleil, le centre S de l'ouverture et le pied P de la verticale abaissée de ce dernier

Enfin, Charles IX, par un édit de 1564, ordonna que l'année commençât le premier jour du mois de janvier.

A l'époque où fut inauguré en France le nouveau système métrique des poids et mesures, les savants qui composaient la commission résolurent de mettre l'année civile en harmonie avec l'année astronomique, en fixant au jour de l'équinoxe d'automne le premier jour de l'an, de sorte que ce jour se trouvait en même temps celui de l'anniversaire de la fondation de la République française.

Parlons maintenant des divisions de l'année. Ces divisions sont au nombre de deux, la *semaine*, le *mois*.

Le mois et la semaine tirent sans aucun doute leur origine du mouvement de la Lune[1]. La lunaison est, en effet, de $29^{j}.53$, et la durée moyenne du mois est de 30 jours. Chacune des quatre phases de la Lune vaut sept jours qui est la durée de la semaine, telle qu'elle est connue depuis la plus haute antiquité.

Comme ni l'une ni l'autre de ces périodes lunaires ne comprennent un nombre entier de jours, il en est résulté des inégalités très-marquées entre la manière de subdiviser le temps et les phénomènes astronomiques d'où ces subdivisions sont tirées. De là, dans les calendriers des divers peuples, à diverses époques, une complication, une confusion dont le nôtre se ressent encore.

L'année civile comprend, comme on sait, 12 mois, dont voici les noms et les durées :

Janvier	31 jours.	Juillet	31 jours.
Février	28 } —	Août	31 —
ou	29 }	Septembre	30 —
Mars	31 —	Octobre	31 —
Avril	30 —	Novembre	30 —
Mai	31 —	Décembre	31 —
Juin	30 —		

L'irrégularité saute aux yeux : quant aux dénominations, l'habitude seule peut nous empêcher de les trouver choquantes.

1. *L'étymologie* confirme cette manière de voir : *mois* ient du atin *mensis mois,* qui lui-même dérive du grec μήνην. une.

Ainsi Janvier, Mars, Mai et Juin tirent leurs noms des divinités auxquelles les Romains les consacraient. Juillet et Août étaient consacrés à Jules César et à Auguste. Quant aux quatre derniers mois, ils étaient autrefois les 7e, 8e, 9e et 10e mois de l'année; leurs noms sont donc un contre-sens dans le calendrier moderne.

Les noms des jours de la semaine sont tirés, le dimanche excepté, des noms des planètes auxquelles les Romains consacraient la première heure de chaque jour et ils signifient :

Lundi,	le jour de	la Lune,
Mardi,	—	de Mars,
Mercredi,	—	de Mercure,
Jeudi,	—	de Jupiter,
Vendredi,	—	de Vénus,
Samedi,	—	de Saturne.

Le septième jour de la semaine était consacré au Soleil[1]; c'était le grand jour, *dies magna*, dimanche.

Dans le calendrier républicain, tous les mois de l'année étaient d'égale longueur : ils se composaient invariablement de 30 jours, divisés en trois semaines de 10 jours chacune, ou *décades*. Les noms des jours de la semaine étaient tirés de ceux des dix premiers nombres auxquels on ajoutait la terminaison *di*, qui signifie jour.

On avait ainsi :

Primidi,	Sextidi,
Duodi,	Septidi,
Tridi,	Octidi,
Quartidi,	Nonidi,
Quintidi,	Decadi.

Douze mois de 30 jours ne font que 360 jours. Il y avait donc, pour compléter les années communes, cinq jours complémentaires et six jours pour les années bissextiles Ils

1. Les Anglais disent *sunday* et les Allemands *sontag* littéralement, jour du Soleil.

étaient intercalés entre le douzième mois et le commencement de l'année suivante, et consacrés à des fêtes nationales.

La coïncidence du commencement de l'année avec l'équinoxe faisait que trois mois entiers correspondaient, à peu de chose près, à chacune des saisons de l'année, et la terminaison de leurs dénominations distinguaient les saisons les unes des autres. Voici les noms des 12 mois adoptés; on voit qu'ils sont empruntés, soit à la météorologie générale, soit aux principales opérations de l'agriculture, pour la zone tempérée de l'hémisphère boréal :

Saison d'Automne.	Saison d'Hiver.	Saison du Printemps.	Saison d'Été.
1. Vendémiaire,	4. Nivôse.	7. Germinal.	10. Messidor.
2. Brumaire.	5. Pluviôse.	8. Floréal.	11. Thermidor.
3. Frimaire.	6. Ventôse.	9. Prairial.	12. Fructidor.

Dans les almanachs, on trouve ordinairement, outre la nomenclature des jours de chaque mois, divisés en semaines, les heures du lever, du coucher et du passage au méridien de la Lune et du Soleil, l'instant précis des phases de la Lune, ainsi que les époques des équinoxes et des solstices, c'est-à-dire des commencements des saisons astronomiques. L'*Annuaire du Bureau des longitudes*, le recueil le plus complet après la *Connaissance des temps*, donne en outre de dix en dix jours, le lever, le coucher et le passage au méridien des planètes principales, la déclinaison du Soleil à midi moyen, et enfin l'équation du temps, c'est-à-dire l'heure du temps moyen à midi vrai.

La distribution des nombres de jours qui forment chaque mois est si bizarre, que bien des personnes se rappellent difficilement quels sont ceux qui se composent de 31 jours. De là, un moyen mnémonique que nous allons décrire, mais qui, comme tous les procédés de ce genre, substitue à un travail de mémoire assez facile, une règle qui ne l'est pas davantage. La voici :

On ferme la main gauche, puis on porte l'index de la main droite, de la gauche vers la droite, sur les os saillants et sur les creux qui se trouvent à la naissance des doigts. On a ainsi

les sept premiers mois de l'année; chaque saillie correspond à un mois de 31 jours. Revenant ensuite en sens inverse, en reprenant la dernière saillie, on nomme les cinq derniers mois, et ce sont encore les saillies qui correspondent aux mois de 31 jours.

Terminons ce que nous avons à dire du calendrier par l'explication de quelques termes qu'on trouve en tête des almanachs, et qui forment ce qu'on appelle le *comput ecclésiastique*.

Si l'on multiplie la durée de la lunaison qui est de $29^{j}.53$, par 235, on trouve pour produit $6939^{j}.55$, qui équivaut à 19 années tropiques. Il résulte de là que, tous les 19 ans, les nouvelles lunes reviennent aux mêmes jours de l'année. Cette période est ce qu'on nomme le *cycle lunaire*, qu'il ne faut pas confondre avec la période de Saros, laquelle est seulement de 223 lunaisons ou de 18 années 11 jours. Méton, astronome athénien, découvrit cette concordance en l'an 430 av. J. C. Ses compatriotes furent si émerveillés de la beauté de cette découverte, qu'ils en firent graver le calcul en lettres d'or. De là, la dénomination de *Nombre d'or* sous laquelle on la connaît encore aujourd'hui.

La première année du cycle est celle où la nouvelle Lune tombe le 1er janvier; les suivantes sont marquées de la suite des nombres jusqu'à 19.

Ainsi l'année 1867 a pour nombre d'or 6, parce que c'est la 6e année du cycle; c'est donc en 1862 que la nouvelle Lune a eu lieu le premier janvier.

L'année 2 de notre ère avait 1 pour nombre d'or. De là, une règle simple pour avoir celui d'une année quelconque. Au millésime, ajoutez 1, divisez la somme par 19; le reste de la division sera le nombre d'or de l'année. Ainsi $1867+1=1868$; 1868, divisé par 19, donne 6 pour reste.

Les nombres d'or servent à fixer les dates des fêtes ecclésiastiques.

L'*épacte* est le nombre qui indique l'âge de la Lune pour le 1er janvier de chaque année. Il s'indique par des chiffres romains. Ainsi l'épacte de l'année 1867 est le nombre XXV.

Quand on connaît le nombre d'or d'une année, il est aisé d'en déterminer l'épacte. En effet, la nouvelle Lune ayant lieu le 1er janvier de l'année qui commence le cycle lunaire, et la durée des lunaisons étant connue, il est facile de calculer le jour où doit avoir lieu la nouvelle lune de la treizième lunaison : c'est le 355e de la première année du cycle. La Lune sera donc à son 11e jour le 1er janvier de l'année suivante, dont l'épacte sera XI. Partant de cette seconde année, on calculera de même l'épacte de la 3e et ainsi de suite. Le tableau suivant donne les épactes des 19 années qui composent le cycle lunaire.

Nombres d'or.	Épactes.	Nombres d'or.	Épactes.
1	*	11	XX
2	XI	12	I
3	XXII	13	XII
4	III	14	XXIII
5	XIV	15	IV
6	XXV	16	XV
7	XVI	17	XXVI
8	XVII	18	VII
9	XXVIII	19	XVIII
10	IX		

Quand on connaît l'épacte d'une année, on peut du reste trouver par un calcul simple celle de l'année suivante. Il suffit d'y ajouter le nombre 11. Si la somme est moindre que 30, elle indique l'épacte. Si elle surpasse 30, on retranche précisément le nombre 30, et le reste est l'épacte. Il y a exception seulement pour la 19e année du cycle, à l'épacte de laquelle on ajoute 12; la somme est 30, et l'épacte suivant 0 ou *. Cette différence corrige précisément ce qu'il y a d'inexact dans l'hypothèse que 12 lunaisons font précisément 355 jours et que l'année est de 365 jours seulement.

Dans les calendriers perpétuels ecclésiastiques, les sept premiers jours de l'année sont marqués par les lettres A B C D E F G, qui se reproduisent de la même façon tout le long du calendrier pour les autres jours de l'année.

Ces lettres n'indiquent pas les jours de la semaine auxquels *elles correspondent*, puisque ces jours varient d'une année

à l'autre. C'est pour obvier à cet inconvénient qu'on a donné le nom de *lettre dominicale* à celle de ces 7 lettres qui désigne le premier dimanche de janvier : une fois connue pour une année déterminée, la lettre dominicale fixe nécessairement les jours de le semaine qui correspondent à des dates successives du calendrier perpétuel.

Ainsi l'année 1866 a pour lettre dominicale G, parce que le premier dimanche de janvier 1866 a été le 7e jour de l'année. Comme dans 365 jours, il y a 52 semaines plus un jour, il est clair que si 1866 a commencé par un lundi, 1867 commence un mardi. La lettre dominicale de 1867 rétrogradera donc d'un rang; le premier dimanche de l'année en sera le 6e jour: la lettre dominicale sera donc F.

Mais 1868, étant bissextile, aura 52 semaines plus 2 jours. La lettre dominicale rétrogradera de deux rangs, ce qu'on exprime en lui donnant les deux lettres précédentes ED; la lettre dominicale de 1869 sera donc C.

A l'aide de cette hypothèse, il est facile, sur un calendrier perpétuel, construit comme nous venons de le dire, de déterminer à une date quelconque le jour de la semaine correspondante. Ainsi en 1867, toutes les dates marquées F sont des dimanches, tous les G des lundis, les A des mardis, etc....

Aujourd'hui que les almanachs donnent les calendriers de chaque année avec précision, toutes ces règles ne sont plus d'aucun usage : elles sont véritablement surannées.

L'*indiction romaine* est une autre période de 15 ans usitée dans le calendrier ecclésiastique et qui ne peut avoir d'importance que dans la chronologie.

Enfin le *cycle solaire* est une période de 28 ans qui ramène les mêmes jours de la semaine aux mêmes jours du mois. Il n'a aucun rapport avec le cours du Soleil. Sa dénomination lui vient du dimanche qui était, nous l'avons vu, le jour du Soleil. Pour avoir le cycle solaire d'une année, on ajoute 9 au millésime, on divise par 28, le reste de la division est le cycle de l'année ; si le reste est 0, le cycle est 28. Ainsi 1867+9 donne 1876, qui, divisé par 28, donne 0 pour reste. Donc 1867 a 28 pour cycle solaire.

Les années de deux cycles solaires ont nécessairement les mêmes lettres dominicales qui se succèdent dans le même ordre

Telles sont les principales applications de l'astronomie à la mesure et à la division du temps. Les progrès de l'art de l'opticien et ceux de l'horlogerie ont contribué à donner à cette mesure une perfection qu'il est difficile de dépasser. Mais il ne faut pas oublier que les phénomènes célestes sont les véritables régulateurs des instruments eux-mêmes, de sorte qu'on ne saurait dire lesquels ont le plus aidé à édifier le grand monument de l'astronomie moderne, de ceux qui ont travaillé à élaborer les théories, ou de ceux qui ont fourni à la pratique et aux observations les moyens de les vérifier.

FIN.

PRINCIPAUX ÉLÉMENTS DU SYSTÈME SOLAIRE.

NOMS des corps célestes.	DISTANCES moyennes au Soleil.	DISTANCES en kilomètres.	DURÉE des révolutions sidérales.	EXCENTRICITÉS des orbites.	INCLINAISONS des orbites sur l'écliptique.	DURÉES des rotations.	DIAMÈTRE équatorial.	DIAMÈTRE en kilomètres.	VOLUME la Terre = 1.	MASSE la Terre = 1.	DENSITÉ celle de la Terre = 1.
Mercure...	0.387	57 110 000	87j 969	0.2056	7° 0'	0j 24h 5m	0.372	4 730kil	0.051	0.081	1.59
Vénus.....	0.723	106 700 000	224.701	0.0068	3 23	23 21	0.931	11 860	0.806	0.859	1.06
La Terre..	1.000	147 540 000	365.256	0.0168	0 0	23 56	1.000	12 753	1.000	1.000	1.00
Mars.....	1.524	224 800 000	686.980	0 0933	1 51	24 37	0.540	6 800	0.157	0.119	0.78
Jupiter....	5.203	767 600 000	4 332.585	0.0482	1 19	9 55	11.130	141 000	1 378.000	337.170	0.24
Saturne...	9.539	1 407 000 000	10 759.220	0.0560	2 29	10 30	9.107	116 000	755.000	108.806	0.13
Uranus....	19.183	2 830 000 000	30 686.821	0.0465	0 46	»	4.156	53 000	72.000	17.208	0.24
Neptune...	30.037	4 431 600 000	60 126.720	0.0087	1 47	»	4.380	55 600	84.000	20.231	0.24
La Lune...	»	»	»	»	»	27 7 43	0.273	3 475	0.020	0.013	0.65
Le Soleil...	»	»	»	»	»	24 23 18	107.865	1 372 000	1 255 000	354.030	0.28

TABLE DES FIGURES.

FIGURES INSÉRÉES DANS LE TEXTE.

Figures. Pages.

1 Détermination de la méridienne par les ombres d'un style vertical 5
2 Rose des vents 7
3 Sphère céleste. — Mouvement diurne 10
4 Boussole terrestre de déclinaison 12
5 Boussole marine 13
6 Mouvement propre de la Lune sur la voûte céleste 15
7 Sens des mouvements de rotation et de translation des planètes 24
8 Isolement de la Terre dans l'espace 29
9 Courbure des continents. — Horizons d'un même lieu, à diverses altitudes 31
10 Courbure des mers.— Explication des divers aspects d'un navire qui s'approche des côtes 31
11 Zones célestes de l'horizon d'un lieu 33
12 Mouvement diurne de la sphère céleste aux pôles 34
13 Mouvement diurne de la sphère céleste à l'équateur 35
14 Les verticales concourent à l'intérieur de la Terre. Antipodes .. 37
15 Dépression de l'horizon 40
16 Coordonnées terrestres. Longitudes et latitudes 41
17 Zones terrestres 43
18 Diminution de longueur des degrés du méridien de l'équateur aux pôles 48
19 Déviation orientale d'un corps qui tombe sous l'action de la pesanteur 54
20 Démonstration expérimentale de la déviation du pendule 55
21 Déviation du plan du pendule 56
22 Déviation apparente du plan du pendule au pôle 57
23 Pendule de M. Léon Foucault 58
24 Tore du gyroscope 59

Figures. Pages.
25 Gyroscope de M. Léon Foucault..... 60
26 Expérience de M. Plateau. Aplatissement d'une sphère liquide sous l'influence d'un mouvement de rotation..... 63
27 Lunette méridienne..... 66
28 Grande lunette méridienne de l'Observatoire de Paris..... 67
29 Mesure de la déclinaison d'une étoile..... 69
30 La latitude est égale à la hauteur du pôle..... 70
31 Mesure de la distance zénithale du pôle..... 72
32 Globe terrestre..... 74
33 Mappemonde dans le système de projection orthographique... 76
34 Principe du système de projection stéréographique..... 77
35 Mappemonde dans le système de projection stéréographique. Projection sur un méridien..... 77
36 Mappemonde dans le système stéréographique. Projection sur l'horizon de Paris..... 78
37 Développement de Flamsteed modifié. — Carte de France de l'État-Major..... 79
38 Orbite apparente du Soleil..... 83
39 Forme elliptique de l'orbite apparente du Soleil..... 87
40 Coordonnées célestes. — Longitude et latitude..... 89
41 Position du grand axe de l'orbite solaire. Longitude du périgée. 90
42 Orbite apparente du Soleil et orbite réelle de la Terre..... 92
43 Détermination de l'instant précis de l'équinoxe..... 95
44 Différence de durée du jour solaire et du jour sidéral..... 97
45 Inégalité des jours solaires..... 99
46 Précession des équinoxes..... 103
47 Déplacement progressif du grand axe de l'orbite terrestre..... 107
48 La Terre à l'un des équinoxes..... 110
49 La Terre entre l'équinoxe et le solstice..... 111
50 La Terre à l'un des solstices..... 111
51 Orbite annuelle de la Terre autour du Soleil. — Les saisons... 116
52 Inégalité d'épaisseur des couches atmosphériques traversées par les rayons du Soleil, suivant sa hauteur..... 119
53 Zones des vents alizés et des calmes équatoriaux..... 124
54 Dimensions apparentes du disque du Soleil, à ses distances extrêmes et moyenne de la Terre..... 127
55 Dimensions comparées du globe du Soleil et de l'orbite de la Lune..... 129
56 Différence de la durée de rotation apparente du Soleil et de sa rotation réelle..... 131
57 Trajectoires des taches solaires à diverses époques de l'année.. 132
58 Taches du Soleil le 2 septembre 1830, d'après le capitaine Davis. 133
59 Taches du Soleil, d'après J. Herschel.—Noyaux et pénombres. 135
60 Tache solaire, d'après Nasmyth. Lucules ou feuilles de saule.. 136
61 Forme du croissant lunaire..... 141
62 Forme du disque de la Lune avant ou après la pleine Lune.... 141

Figures. Pages.
63 Première phase de la Lune 143
64 Quatrième jour de la Lune 143
65 La Lune à son premier quartier 144
66 La Lune entre le premier quartier et la pleine Lune 144
67 La pleine Lune 144
68 Décours de la Lune. Entre la pleine Lune et le dernier quartier 145
69 Décours de la Lune. Dernier quartier 145
70 Décours de la Lune. Entre le dernier quartier et la Lune nouvelle 145
71 Lumière cendrée. Dernière phase de la Lune 146
72 Diamètre de la Lune à l'horizon 149
73 Diamètre du disque de la Lune au zénith 149
74 Variation dans la distance de la Lune, de l'horizon au zénith.. 149
75 Orbite de la Lune. Explication des phases 152
76 Différence de durée de la révolution synodique et de la révolution sidérale 153
77 Rétrogradation des nœuds de la Lune 155
78 Mouvement de la Lune dans l'espace. Forme sinueuse de l'orbite 156
79 Mesure de la distance d'un point inaccessible 157
80 Mesure de la distance de la Terre à la Lune 158
81 Dimensions comparées de la Terre et de la Lune 162
82 Rotation de la Lune. Sa durée est celle de la révolution sidérale. 164
83 Libration de la Lune en latitude 165
84 Libration diurne de la Lune 166
85 Forme circulaire des montagnes de la Lune 170
86 Copernic 173
87 Paysage lunaire. Vue intérieure d'un cirque, d'après Nasmyth. 177
88 Théorie générale des éclipses 183
89 Éclipse totale de Soleil 186
90 Éclipse annulaire de Soleil 187
91 Éclipse totale du 18 juillet 1860. Marche de l'ombre et de la pénombre à la surface de la Terre 189
92 Éclipse de juillet 1860. Gloire et auréole 190
93 Éclipse de juillet 1851. Protubérances rougeâtres 191
94 Éclipse annulaire de mai 1836. Dentelures de Baily 192
95 Mouvement apparent d'une planète supérieure. Stations et rétrogradations 206
96 Mouvement d'une planète inférieure dans l'hypothèse de la Terre immobile 209
97 Explication des mouvements apparents d'une planète inférieure. 210
98 Phases d'une planète inférieure 211
99 Explication des mouvements apparents d'une planète supérieure. 213
100 Stations et rétrogradations des planètes inférieures. Expérience comparative 214

Figures. Pages.
101 Stations et rétrogradations des planètes supérieures..... .. 215
102 Loi des aires; égalité des surfaces décrites en temps égaux par le rayon vecteur d'une planète. 219
103 Mercure et la Terre; dimensions comparées 225
104 Croissant de Mercure, d'après Schrœter..... 226
105 Dimensions apparentes de Vénus à ses distances extrêmes et moyenne de la Terre..... 227
106 Vénus et la Terre. 227
107 Échancrures du croissant de Vénus, d'après Schrœter..... 228
108 Inclinaison de l'axe de rotation de Vénus..... 229
109 Mars et la Terre. Dimensions comparées..... 231
110 Vue de Mars. Taches polaires, d'après Warren de la Rue..... 232
111 Dimensions comparées de Jupiter et de la Terre. Bandes sombres et brillantes 234
112 Jupiter accompagné de ses satellites..... 235
113 Orbites des satellites de Jupiter..... 236
114 Saturne et la Terre; dimensions comparées..... 238
115 Saturne; ses anneaux et ses bandes..... 239
116 Phases des anneaux de Saturne..... 241
117 Orbites des satellites de Saturne..... 242
118 Uranus et la Terre; dimensions comparées..... 244
119 Neptune et la Terre; dimensions comparées..... 247
120 Dimensions comparées de la Terre et des planètes Pallas, Junon, Vesta et Cérès..... 251
121 Anneau de corpuscules météoriques circulant autour du Soleil. 254
122 Direction de l'axe de la lumière zodiacale 258
123 Formes des orbites cométaires. Ellipse, parabole, hyperbole... 262
124 Comète de Gambart d'après Struve 265
125 Comète de Halley, vue à 'œil nu, le 24 octobre 1835..... 266
126 Tête de la comète d'Halley, d'après J. Herschel..... 267
127 Comète de 1811..... 268
128 Comète de Donati; octobre 1858, d'après Bond..... 269
129 Un coin de la constellation des Gémeaux vu à l'œil nu..... 274
130 Un coin de la constellation des Gémeaux vu au télescope..... 275
131 Constellations circompolaires boréales..... 277
132 Constellations équatoriales. — Le Lion, la Vierge..... 279
133 Constellations du Cygne, de la Lyre, de l'Aigle. 280
134 Constellations de Pégase, d'Andromède et de Persée..... 281
135 Constellations équatoriales. Le Taureau, Orion, le Grand Chien. 281
136 Zone circompolaire australe. La Croix du Sud, le Centaure, le Navire..... 282
137 Parallaxe annuelle des étoiles..... 285
138 Aberration. — Déviation causée par la combinaison du mouvement de la lumière et du mouvement de translation de la Terre..... 289
139 Courbe annuelle d'aberration..... 290

Figures. Pages.
140 Direction inclinée des gouttes de pluie dans un wagon en marche..... 291
141 Explication du phénomène précédent..... 291
142 Point du ciel vers lequel se dirige le système solaire..... 293
143 La Pèlerine, étoile nouvelle de 1572..... 296
144 Étoile septuple Théta; trapèze d'Orion..... 300
145 Les Pléiades..... 303
146 Amas stellaire de la Balance..... 304
147 Amas d'Hercule..... 305
148 Amas stellaire d'Oméga du Centaure..... 306
149 Nébuleuse d'Andromède..... 307
150 Nébuleuse du Taureau..... 308
151 Nébuleuse de la Dorade..... 309
152 Nébuleuses annulaires..... 310
153 Nébuleuse spirale des Chiens de chasse d'après lord Rosse.... 311
154 Nébuleuse de forme circulaire ou elliptique..... 312
155 Étoiles nébuleuses..... 313
156 Nébuleuse double, d'après lord Rosse..... 314
157 Coupe géométrique de la Voie Lactée. Position du Soleil d'après Herschel..... 316
158 Actions combinées de la Lune et du Soleil sur les eaux de la mer. Marée luni-solaire des syzygies..... 331
159 Détermination de la vitesse de la lumière par les éclipses des satellites de Jupiter..... 334
160 Gnomon. Détermination de la hauteur du Soleil..... 340
161 Cadran solaire équatorial..... 342
162 Cadran solaire horizontal..... 343
163 Cadran solaire vertical déclinant..... 344
164 Construction des cadrans solaires horizontaux ou verticaux.... 345

PLANCHES HORS DU TEXTE :

Pl. I. Système solaire; orbites des planètes.
II. Carte du ciel visible sur l'horizon de Paris.

FIN DE LA TABLE DES FIGURES.

TABLE DES MATIÈRES.

INTRODUCTION.

Pages

I. Horizon, voûte céleste. — Lever et coucher des astres; orient et occident. — Verticale, zénith et nadir. — Méridien; détermination de la méridienne par les ombres d'un style vertical. — Orientation; points cardinaux et rose des vents..... 1

II. Étude du mouvement diurne de la voûte étoilée.— Étoile polaire; zone des étoiles circompolaires. — Axe du monde. — Les étoiles décrivent des cercles parallèles d'un mouvement uniforme. — Orientation par la boussole..... 8

III. Mouvements propres du Soleil, de la Lune et de quelques étoiles particulières, en sens contraire du mouvement diurne. — Énumération des astres qui composent le système solaire.—Planètes intérieures et extérieures; leurs satellites.—Généralités sur les mouvements des planètes autour du Soleil.—Zodiaque.— Mouvements de rotation. — La Terre est une planète qui a, comme les autres, deux mouvements, l'un de translation, l'autre de rotation.— Sens commun des mouvements de rotation et de translation de tous les astres du système solaire..... 14

IV. La Terre est une planète. — Son mouvement de rotation détermine la durée du jour et la succession des journées et des nuits. — Son mouvement de translation détermine la durée de l'année; et l'inclinaison de son axe sur l'écliptique donne lieu à la succession des saisons..... 25

CHAPITRE PREMIER.

LA TERRE. — MOUVEMENT DE ROTATION.

I. Premières notions sur la forme de la Terre.— Son isolement dans l'espace. — Preuves de la sphéricité de la Terre; courbure

Pages

des continents et des mers. — Effets du déplacement d'un observateur le long d'un méridien. — Isolement de la Terre dans l'espace; voyages de circumnavigation. — Ce que c'est que tomber; signification locale des mots haut et bas; les antipodes.— Horizon rationnel; horizon sensible ou apparent. — Dépression de l'horizon selon l'altitude..... 28

II. Formes et dimensions de la Terre. — Coordonnées géographiques; longitudes et latitudes. — Zones terrestres. — Forme rigoureuse de la Terre; mesure de l'arc d'un degré à diverses latitudes; aperçu historique. — Les degrés ont des longueurs croissantes de l'équateur aux pôles. — Aplatissement de la Terre. — Dimensions des différents diamètres équatorial, polaire, moyen; circonférences méridienne et équatoriale. — Surface et volume de la Terre; hauteurs des continents et des montagnes; profondeur des mers. 41

III. Preuves du mouvement de rotation de la Terre. — Histoire de la découverte du mouvement de rotation de la Terre. — Preuves expérimentales de la rotation; déviation orientale des corps qui tombent librement. — Invariabilité du plan d'oscillation du pendule; déviation apparente; expériences de M. Léon Foucault; gyroscope. — Diminution de l'intensité de la pesanteur du pôle à l'équateur; effets de la force centrifuge; effet du renflement équatorial. — L'aplatissement de la Terre est une preuve du mouvement de rotation; expérience de M. Plateau. — Durée de la rotation; vitesse des points situés à des latitudes différentes..... 52

IV. Jour sidéral; temps sidéral. — Lunette méridienne, ou instrument des passages. — Cercles horaires. — Détermination de la position d'une étoile; ascension droite et déclinaison; mesure de ces deux coordonnées..... 65

V. Longitudes et latitudes géographiques ou terrestres. — Méthodes employées par les astronomes pour la mesure de ces coordonnées. — Distance zénithale du pôle. — Méthode des signaux de feu, des chronomètres ou de la télégraphie électrique pour mesurer les longitudes. — Globes et cartes. — Projections orthographique et stéréographique. — Développement de Mercator..... 69

CHAPITRE II.

LA TERRE. — MOUVEMENT DE TRANSLATION.

I. Mouvement propre du Soleil. — Détermination de son orbite apparente; écliptique. — Inclinaison de l'écliptique sur le plan de l'équateur. — Forme réelle de l'orbite solaire. — Vitesse varia-

Pages

ble du Soleil sur son orbite; variations de son diamètre apparent. — Apogée et périgée, distance moyenne. — Coordonnées écliptiques; longitude et latitude célestes..... 81

II. Mouvement réel de translation de la Terre autour du Soleil. — Explication des phénomènes dans l'hypothèse de ce mouvement.. 91

III. Année tropique; sa durée en jours sidéraux. — Jours vrais ou solaires; différence de durée du jour solaire et du jour sidéral. — Hypothèses d'un soleil fictif équatorial; jours et temps moyens. — Le Soleil vrai et le Soleil moyen ne passent pas au méridien au même instant; équation du temps. — Réglage des horloges sur le temps moyen..... 95

IV. Précession des équinoxes. — Mouvement progressif des constellations. — Variation des ascensions droites et des déclinaisons des étoiles, dues à la précession. — Mouvement de l'équateur ou de la ligne des pôles autour de l'axe de l'écliptique; durée de sa révolution. — Nutation. — Déplacement lent du grand axe de l'orbite de la Terre..... 102

V. Les jours et les nuits à la surface de la Terre. — Variations dans la durée des journées et des nuits dans un même lieu, selon l'époque de l'année. — Variations selon les latitudes. — Lieux de la Terre où le Soleil passe au zénith à midi. — Jours et nuits des pôles..... 108

VI. Les saisons. — Inégales durées des saisons; causes de cette inégalité. — Les saisons considérées au point de vue de la température.—Variations de l'intensité de la chaleur solaire. — Variation dans la température aux diverses époques de l'année; ses causes. — Pourquoi les températures extrêmes ne coïncident pas avec les solstices. — Températures moyennes des deux hémisphères terrestres. — Brises de terre et de mer. — Les vents alizés et les moussons..... 115

CHAPITRE III.

LE SOLEIL.

Forme et dimensions du Soleil; sa distance à la Terre. — Taches qui parsèment son disque. — Mouvement de rotation du Soleil. — Pôles et équateur solaires.— Détails sur les taches. — Hypothèses sur la constitution physique du Soleil. — Intensités de sa chaleur et de sa lumière..... 126

CHAPITRE IV.

LA LUNE.

Pages

I. Forme du disque lunaire. — La Lune a la forme d'un sphéroïde allongé vers la Terre. — Ses phases. — Lumière cendrée; cause de ce phénomène. — Dimensions apparentes du disque lunaire à l'horizon ou au méridien. — Explication de cette illusion..... 140

II. Mouvement propre de la Lune. — Orbite apparente; mouvement réel de translation autour de la Terre; explication des phases. — Révolution synodique et révolution sidérale; différence de durée; sa cause. — Forme réelle de l'orbite lunaire; nœuds. — Rétrogradation des nœuds et de l'axe de l'orbite. — Ligne courbe décrite par la Lune dans l'espace..... 150

III. Distance de la Lune à la Terre.— Idée de la méthode employée pour déterminer la parallaxe de la Lune. — Variations dans les distances de la Lune. — Dimensions du globe lunaire. — Surface. — Volume..... 157

IV. Mouvement de rotation de la Lune; la durée de la rotation est égale à la durée de la révolution sidérale. — Librations; librations en longitude, en latitude et diurne. — Jours sidéraux et solaires sur la Lune. — Inégalité des jours et des nuits..... 163

V Constitution physique de la Lune; taches sombres; les mers lunaires. — La Lune vue au télescope; montagnes annulaires, cratères et cirques; pics et pitons. — Dimensions des principales montagnes de la Lune. — La Lune n'a pas d'atmosphère; absence de nuages; absence d'eau..... 168

CHAPITRE V.

LES ÉCLIPSES.

I. Éclipses de Soleil et de Lune. — Causes de ces phénomènes. — Conditions générales de réalisation des éclipses; elles n'ont lieu qu'aux époques des syzygies. — La Lune doit être voisine de l'un de ses nœuds pour qu'il y ait éclipse. — Il ne peut pas y avoir éclipse dans toutes les syzygies..... 180

II. Les éclipses de Soleil. — Distinction des éclipses de Soleil en totales, annulaires et partielles. — Conditions particulières des éclipses de Soleil. — Traces des cônes d'ombre et de pénombre à a surface de la Terre. — Marche et durée d'une éclipse totale.— *Phénomènes observés* pendant les éclipses totales de Soleil; cou-

Pages

ronne lumineuse et protubérances rougeâtres. — Influence sur les végétaux et les animaux..... 185

III. Éclipses de Lune. — Les éclipses de Lune sont visibles dans une plus grande étendue de pays que celles de Soleil. — Conditions particulières de possibilité. — Éclipses partielles, totales. — Marche du phénomène; entrée de la Lune dans la pénombre. — Coloration rougeâtre du disque éclipsé. — Périodes des éclipses: période de Saros. — Fréquence relative des éclipses de Soleil et de Lune..... 195

CHAPITRE VI.

LES PLANÈTES.

I. Énumération des planètes. — Planètes inférieures et planètes supérieures. — Caractères qui distinguent les planètes des étoiles..... 20

I. Mouvements apparents des planètes. — Étude du mouvement propre d'une planète; tracé de sa trajectoire. — Mouvement apparent des planètes inférieures; stations, rétrogradations; élongation maximum. — Mouvement apparent d'une planète supérieure; stations, rétrogradations; opposition. — Durée des révolutions synodiques des planètes principales..... 203

III. Mouvements réels des planètes autour du Soleil. — Explication des apparences, des stations et rétrogradations des planètes. — Phases des planètes inférieures..... 208

IV. Mouvement des planètes. — Lois de Képler..... 217

V. Monographies des planètes principales. — Leurs distances au Soleil; leurs dimensions, leurs formes. — Durée de leurs mouvements de rotation. — Détails sur leur constitution physique. — Vénus et Mercure; phases; passages sur le Soleil. — Mars, ses continents et ses mers; taches blanches de ses pôles. — Jupiter, ses bandes, ses satellites. — Anneaux de Saturne; ses huit satellites. — Uranus et Neptune. — Idée de la méthode qui a servi à découvrir Neptune..... 224

VI. Les petites planètes. — Les aérolithes. — La lumière zodiacale. 249

CHAPITRE VII.

LES COMÈTES.

Pages

Caractères qui distinguent les comètes des planètes. — Formes des orbites cométaires; inclinaisons de leurs plans sur le plan de l'écliptique. — Sens rétrograde des mouvements d'un grand nombre de comètes. — Comètes périodiques. — Comètes d'Encke, de Gambart, d'Halley. — Description de quelques comètes fameuses. — Possibilité du choc de la Terre par une comète. — Les comètes sont sans influence sur les saisons..... 260

CHAPITRE VIII.

LES ÉTOILES.

I. Les étoiles; leur fixité apparente. — Nombre des étoiles visibles à l'œil u étoiles visibles dans les télescopes. — Ordres de grandeur. — Constellations circompolaires boréales. — Constellations équatoriales; étoiles les plus remarquables. — Constellations circompolaires du ciel austral 273

II. Distances des étoiles à la Terre. — Parallaxe annuelle des étoiles. — Temps que la lumière des étoiles met à parvenir à la Terre. — Aberration; ses causes. — L'aberration est une preuve directe du mouvement de translation de la Terre..... 283

III. Mouvement propre des étoiles. — Translation du système solaire dans l'espace. — Le Soleil se meut avec toutes les planètes dans la direction de la constellation d'Hercule..... 292

IV. Étoiles variables périodiques, temporaires, nouvelles. — Mira de la Baleine et Algol de Persée. — La Pèlerine, étoile de 1572. — Éta du Navire..... 294

V. Étoiles doubles et multiples. — Distinction des étoiles doubles en couples optiques et en couples physiques. — Durées des révolutions de quelques soleils doubles. — Couleurs variées des composantes. — Couleurs de quelques étoiles simples..... 298

VI. Groupes d'étoiles; les Pléiades. — Amas stellaires ou nébuleuses résolubles. — Nébuleuses irréductibles de formes diverses. — Nébuleuses planétaires et étoiles nébuleuses. — Voie Lactée; le Soleil *est une* des étoiles de la Voie Lactée..... 302

CHAPITRE IX.

APPLICATIONS DE L'ASTRONOMIE AUX SCIENCES ET AUX ARTS.

Pages

I. Usage des éclipses dans la chronologie..... 319

II. Application de l'astronomie à la navigation. — Méthode de navigation par l'estime, à l'aide du loch et de la boussole. — Détermination des longitudes par les distances du Soleil ou des étoiles à la Lune. — Tables de la Lune..... 321

III. Les marées. — Hautes et basses mers. — Périodicité des marées comparée au mouvement de la Lune. — Marées des syzygies. — Causes des marées. — Hauteur de la marée dans un lieu donné; établissement du port..... 324

IV. Détermination de la vitesse de la lumière par les éclipses des satellites de Jupiter..... 333

V. Cadrans solaires et gnomons. — Détermination de la méridienne par la méthode des ombres égales, et par celle de l'alignement aux pôles. — Gnomons; leurs usages. — Cadran solaire équatorial. — Cadran horizontal; cadran vertical méridional et vertical déclinant..... 337

VI. Le calendrier. — Durée de l'année chez les anciens. — Réforme julienne; années bissextiles. — Réforme grégorienne. — Origine de l'année à différentes époques. — Noms et durées des mois; jours de la semaine. — Calendrier républicain. — Comput ecclésiastique : cycle lunaire; nombre d'or; épacte; lettre dominicale; indiction romaine et cycle solaire..... 347

Principaux éléments du système solaire..... 357
Table des figures..... 359

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES.

Imprimerie générale de Ch. Lahure, rue de Fleurus, 9, à Paris.

NOUVELLES PUBLICATIONS

RÉDIGÉES CONFORMÉMENT AUX PROGRAMMES OFFICIELS DE 1890

POUR L'ENSEIGNEMENT SECONDAIRE SPÉCIAL

(Tous les volumes ci-après sont imprimés dans le format in-18 jésus et cartonnés)

LANGUE FRANÇAISE.

Grammaire de l'enseignement secondaire spécial, par M. Sommer. 1 v. 1 fr. 50.

Lectures ou dictées, par M. Julien-Dubouy (année préparatoire et 1re année). 3 vol. :
Tome I, à l'usage des contrées agricoles. 1 fr. 50.
Tome II, à l'usage des contrées commerciales.
Tome III, à l'usage des contrées industrielles.

Principes de style et de composition, par M. Pellissier, professeur au collège Chaptal et à Sainte-Barbe (2e année). 1 vol.

Morceaux choisis des classiques français, prose et vers, adaptés au précédent ouvrage. 1 vol. 1 fr. 50 c.

Principes de rhétorique française, par M. Pellissier (3e année). 1 vol.

Morceaux choisis des classiques français (prose et vers), adaptés au précédent ouvrage. 1 vol. 2 fr. 50 c.

Textes classiques de la littérature française, extraits des grands écrivains français, avec notices biographiques et bibliographiques, appréciations littéraires et notes explicatives, par M. Desmoulins (3e année). 2 vol. 3 fr.

GÉOGRAPHIE ET HISTOIRE.

Géographie générale de la France, par M. Richard Cortambert (année préparatoire). 1 vol.

Atlas correspondant. Grand in-8°.

Géographie particulière de chacun des 87 départements, par M. Ad. Joanne. Livrets très-complets de chaque département, accompagnés d'une carte, formant un fascicule du même format que la Géographie générale et se vendant séparément.

Géographie des cinq parties du monde, par M. R. Cortambert (1re année). 1 vol.

Atlas correspondant. Grand in-8°.

Géographie agricole, industrielle, commerciale et administrative de la France et de ses colonies, par le même auteur (2e année). 1 vol.

Atlas correspondant. grand in-8°.

Géographie commerciale des cinq parties du monde, par M. Richard Cortambert (3e année). 1 vol.

Atlas correspondant. Grand in-8°.

Simples récits d'histoire de France, par M. Fouillé (année préparatoire). 1 vol.

Simples récits des histoires ancienne, grecque, romaine et du moyen âge, par le même auteur (1re année). 1 fort vol.
Chaque histoire séparément, 1 fr. 50 c.

Histoire de la France depuis l'origine jusqu'à la Révolution française, et grands faits de l'histoire moderne de 1789 à 1789, par M. G. Dumoulin (2e année). 1 vol. 2 fr. 50 c.

Histoire de France et histoire générale depuis 1789, par le même auteur (3e année). 2 vol. 3 fr. 50 c.

Histoire moderne et contemporaine depuis 1648 jusqu'à nos jours (4e année). 1 vol. 2 fr. 50 c.

ARITHMÉTIQUE ET COMPTABILITÉ.

Éléments d'arithmétique, par M. Richard (année préparatoire et 1re année). 1 vol.

Cours d'arithmétique commerciale, par M. E. Jeanne (2e année). 1 vol. 2 fr.

Cours de comptabilité, par M. Cornette-Bénard (1re, 2e, 3e et 4e années). 4 vol. Chaque volume 1 fr. 50.

GÉOMÉTRIE, ALGÈBRE, GÉOMÉTRIE DESCRIPTIVE, TRIGONOMÉTRIE.

Éléments de géométrie plane et dans l'espace, par M. Saint-Loup (année préparatoire, 1re et 2e années). 2 vol.

Principes d'algèbre, par MM. H. Sonnet et E. Jeanne (2e et 3e années). 1 vol. 2 fr. 50 c.

Cours élémentaire de géométrie descriptive, par M. Rieu (3e et 4e années). 2 vol. (texte et atlas). 3 fr.

Notions élémentaires de trigonométrie rectiligne, par M. Bouvier (4e année). 1 vol. 1 fr. 50 c.

Notions sur les courbes usuelles, par le même (4e année). 1 vol. 1 fr.

HISTOIRE NATURELLE, PHYSIQUE CHIMIE, MÉCANIQUE, COSMOGRAPHIE.

Éléments de zoologie, par M. Cervoz (année préparatoire, 1re, 2e, 3e et 4e années).

Éléments de botanique, par le même auteur (année préparatoire, 1re, 2e, 3e et 4e années).

Éléments de géologie, par M. H. Stassin (année préparatoire, 1re, 2e, 3e et 4e années).

Notions préliminaires de physique, par M. Marie Davy (1re année). 1 vol. 1 fr.

Éléments de physique, par M. Gustin (2e, 3e et 4e années). 2 vol.

Notions préliminaires de chimie, par MM. Bellevoie et Tassin fils (1re année). 1 vol. 1 fr. 50 c.

Éléments de chimie, par les mêmes (2e, 3e et 4e années). 2 vol.

Éléments de mécanique, par M. Marie Davy (1re année). 1 vol. 1 fr.

Cours de mécanique, par M. Ed. Collignon (4e année). 1 vol.

Éléments de cosmographie, par M. Amédée Guillemin (2e année). 1 vol. 2 fr. 50.

LÉGISLATION, MORALE, INDUSTRIE ÉCONOMIE POLITIQUE.

Éléments de législation usuelle, par M. Delamarre (3e année). 1 vol.

Éléments de législation commerciale et industrielle, par le même auteur (4e année). 1 vol.

Éléments de morale, par M. L. Vernis (3e et 4e années). 1 vol.

Les grandes inventions scientifiques et industrielles, par M. A. Rigaud (3e année). 1 vol. 1 fr. 50 c.

Notions d'économie sociale, industrielle et commerciale, par le même (4e année). 1 vol.

NOUVELLES PUBLICATIONS

RÉDIGÉES CONFORMÉMENT AUX PROGRAMMES OFFICIELS DE 1865

POUR L'ENSEIGNEMENT SECONDAIRE SPÉCIAL

(Tous les volumes ci-après sont imprimés dans le format in-18 jésus et cartonnés)

LANGUE FRANÇAISE.

Grammaire de l'enseignement secondaire spécial, par M. Sommer. 1 v. 1 fr. 50.

Lectures ou dictées, par M. Lelion-Damiens (année préparatoire et 1re année). 3 vol. :
Tome I, à l'usage des contrées agricoles. 1 fr. 50.
Tome II, à l'usage des contrées commerciales.
Tome III, à l'usage des contrées industrielles.

Principes de style et de composition, par M. Pellissier, professeur au collége Chaptal et à Sainte-Barbe (2e année). 1 vol.

Morceaux choisis des classiques français, (prose et vers) adaptés au précédent ouvrage. 1 vol. 1 fr. 50 c.

Principes de rhétorique française, par M. Pellissier. (3e année) 1 vol.

Morceaux choisis des classiques français (prose et vers), adaptés au précédent ouvrage. 1 vol. 2 fr. 50 c.

Textes classiques de la littérature française, extraits des grands écrivains français, avec notices biographiques et bibliographiques, appréciations littéraires et notes explicatives, par M. Demogeot (3e année). 2 vol. 6 fr.

GÉOGRAPHIE ET HISTOIRE.

Géographie générale de la France, par M. Richard Cortambert (année préparatoire). 1 vol.

Atlas correspondant. Grand in-8°.

Géographie particulière de chacun des 20 départements, par M. Ad. Joanne. Ouvrage très-soumis de chaque département, accompagnée d'une carte, formera un fascicule du même format que la Géographie générale et se vendra séparément.

Géographie des cinq parties du monde, par M. E. Cortambert (1re année). 1 vol.

Atlas correspondant. Grand in 8°.

Géographie agricole, industrielle, commerciale et administrative de la France et de ses colonies, par le même auteur (2e année). 1 vol.

Atlas correspondant. grand in 8°.

Géographie commerciale des cinq parties du monde, par M. Richard Cortambert (3e année). 1 vol.

Atlas correspondant. Grand in-8°.

Simples récits d'histoire de France, par M. Feillet (année préparatoire). 1 vol.

Simples récits des histoires ancienne, grecque, romaine et du moyen âge, par le même auteur. (1re année). 1 fort vol.
Chaque histoire séparément, 1 fr. 50 c.

Histoire de la France depuis l'origine jusqu'à la Révolution française, et grands faits de l'histoire moderne de 1125 à 1789, par M. G. Dosquiney (2e année). 1 vol. 3 fr. 50 c.

Histoire de France et histoire générale depuis 1789, par le même auteur (3e année). 1 vol. 3 fr. 50 c.

Histoire moderne et contemporaine depuis 1453 jusqu'à nos jours (4e année). 1 vol. 4 fr. 50c

ARITHMÉTIQUE ET COMPTABILITÉ

Éléments d'arithmétique, par M. Pichot, (année préparatoire et 1re année). 1 vol.

Cours d'arithmétique commerciale, par M. E. Jeanne (2e année). 1 vol. 3 fr.

Cours de comptabilité, par M. Courcelle-Seneuil (1re, 2e, 3e et 4e années). 4 vol. Chaque volume 1 fr. 50

GÉOMÉTRIE, ALGÈBRE, GÉOMÉTRIE DESCRIPTIVE, TRIGONOMÉTRIE.

Éléments de géométrie plane et dans l'espace, par M. Saint-Loup (année préparatoire, 1re et 2e années). 2 vol.

Principes d'algèbre, par MM. H. Sonnet et E. Jeanne (3e et 4e années). 1 vol. 2 fr. 50 c.

Cours élémentaire de géométrie descriptive, par M. Klein (3e et 4e années). 2 vol., texte et planches. 5 fr.

Notions élémentaires de trigonométrie rectiligne, par M. Beaudis (4e année). 1 vol. 1 fr. 50 c.

Notions sur les courbes usuelles, par le même (4e année). 1 vol. 2 fr.

HISTOIRE NATURELLE, PHYSIQUE CHIMIE, MÉCANIQUE, COSMOGRAPHIE.

Éléments de zoologie, par M. Gervais, (année préparatoire, 1re, 2e, 3e et 4e années).

Éléments de botanique, par le même auteur (année préparatoire, 1re, 2e, 3e et 4e années).

Éléments de géologie, par M. Hébert (année préparatoire, 1re, 2e, 3e et 4e années).

Notions préliminaires de physique, par H. Marié Davy (1re année). 1 vol. 3 fr.

Éléments de physique, par M. Gomis (2e, 3e et 4e années). 3 vol.

Notions préliminaires de chimie, par MM. Débernin et Tissandier (1re année). 1 vol. 1 fr. 50 c.

Éléments de chimie, par les mêmes (2e, 3e et 4e années). 3 vol.

Éléments de mécanique, par M. Marié Davy (3e année). 1 vol. 3 fr.

Cours de mécanique, par M. E. Collignon (4e année). 1 vol.

Éléments de cosmographie, par M. Amédée Guillemin (3e année). 1 vol. 2 fr. 50 c.

LÉGISLATION, MORALE, INDUSTRIE ÉCONOMIE POLITIQUE.

Éléments de législation usuelle, par M. Delamarre (3e année). 1 vol.

Éléments de législation commerciale et industrielle, par le même auteur (4e année). 1 vol.

Éléments de morale, par M. A. Franck, (3e et 4e année). 1 vol.

Les grandes inventions scientifiques et industrielles, par M. L. Figuier (4e année). 1 vol. 1 fr. 50 c.

Notions d'économie sociale, industrielle et commerciale, par M. Lesage (4e année). 1 vol.

Imprimerie générale de Ch. Lahure, rue de Fleurus, 9, à Paris.